

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**FILIPE MOREIRA DE AGUIAR**

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE USINAS VIRTUAIS DE ENERGIA NO  
BRASIL**

Porto Alegre

2022

**FILIPE MOREIRA DE AGUIAR**

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DE USINAS VIRTUAIS DE ENERGIA NO  
BRASIL**

Projeto de Diplomação apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gladis Bordin

Porto Alegre

2022

FILIPPE MOREIRA DE AGUIAR

**ESTUDO PARA A APLICAÇÃO DE USINAS VIRTUAIS DE ENERGIA NO  
BRASIL**

Este projeto de diplomação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Orientadora: \_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> Dra. Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich – UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dra. Gladis Bordin, UFRGS

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dra. Fabiola Sena – FSET

Doutora pela Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, Brasil

Chefe do DELET: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich

Porto Alegre, fevereiro de 2022.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, que com muito amor e carinho me criaram e me proporcionaram esta bela experiência que é a graduação.

À minha namorada, Bárbara, que durante todos estes anos me deu amor e suporte para enfrentar esta jornada.

Ao meu irmão por todo o carinho e amizade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à toda minha família pelo carinho e suporte durante a longa jornada da graduação.

À maravilhosa pessoa e docente que sempre com muito carinho, atenção e humanidade me orientou durante este trabalho, professora Gladis Bordin.

À professora Fabiola Sena por me abrir os olhos para o magnífico mundo da regulação do setor elétrico.

Ao professor Roberto Homrich por todos os ensinamentos durante a graduação e por todas as conversas no LMEAE.

Ao meu amor, Bárbara, por toda a compreensão e carinho.

Aos meus queridos amigos que me acompanharam durante esse árduo caminho que é a graduação em Engenharia Elétrica fica aqui o meu muito obrigado.

## RESUMO

O setor elétrico brasileiro está passando por um grande processo de modernização que permitirá a maior penetração dos recursos energéticos distribuídos no mercado e traz a possibilidade de implementação de novos modelos de negócios como as Usinas Virtuais de Energia do inglês *Virtual Power Plant -VPP*. Uma Usina Virtual de Energia pode ser vista como uma rede de distribuição de recursos energéticos distribuídos, responsável por agregar múltiplas fontes de energia em um portfólio que pode trabalhar em conjunto da mesma forma que uma planta de energia convencional. O processo de modernização necessário para a implantação das VPPs no Brasil já está em andamento, englobando a abertura do mercado de energia, aprimoramentos na figura do comercializador varejista, melhorias no programa de resposta da demanda, digitalização do setor elétrico, dentre outros. Assim, o presente trabalho objetiva contextualizar as Usinas Virtuais de Energia e as suas bases no atual ambiente regulatório brasileiro, visando fornecer alguns aspectos à implantação destas usinas. Com base no estudo aqui realizado identifica-se a tendência das VPPs no Brasil.

**Palavras-chave:** Usina Virtual de Energia, Recursos Energéticos Distribuídos, Mercado de Energia.

## **ABSTRACT**

The Brazilian electricity sector is undergoing a major modernization process that will allow greater penetration of distributed energy resources in the market and brings the possibility of implementing new business models such as Virtual Power Plants - VPP. A Virtual Power Plant can be seen as a distribution network of distributed energy resources, responsible for aggregating multiple energy sources into a portfolio that can work together in the same way as a conventional power plant. The modernization process necessary for the implementation of VPPs in Brazil is already underway, encompassing the opening of the energy market, improvements in the figure of the retail trader, improvements in the demand response program, digitalization of the electricity sector, among others. Thus, the present work aims to contextualize the Virtual Power Plants and their bases in the current Brazilian regulatory environment, aiming to provide some aspects to the implementation of these plants. Based on the study carried out here, the trend of VPPs in Brazil is identified.

**Key-words:** Virtual Power Plant, Distributed Energy Resources, Energy Market.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Benefícios associados a Programas de Resposta da Demanda. ....	18
<b>Figura 2</b> – Classificação de programas de resposta da demanda baseados em incentivos.....	21
<b>Figura 3</b> – Diagrama de interação entre uma VPP com o mercado de energia e a rede.....	26
<b>Figura 4</b> – Interação entre as CVPPs e as TVPPs no sistema e no mercado de energia .....	32
<b>Figura 5</b> – Evolução da participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira. ....	40
<b>Figura 6</b> – Modalidades Tarifárias no Brasil.....	43
<b>Figura 7</b> – Variação de capacidade instalada no horizonte decenal, por tecnologia (GW).....	48
<b>Figura 8</b> – Participação das fontes na capacidade instalada de geração centralizada.....	49



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Categorias de serviços ancilares.....	27
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEMO	-	<i>Australian Energy Market Operator</i>
ABRACEEL	-	Associação Brasileira de Comercializadores de Energia
ACL	-	Ambiente de Contratação Livre
ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	-	Balanco Energético Brasileira
CCEE	-	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CIM	-	Comitê de Implementação da Modernização
CVPP	-	<i>Comercial Virtual Power Plant</i>
DSO	-	<i>Distribution System Operator</i>
GD	-	Geração Distribuída
GDD	-	Gerador de Distribuição Doméstico
GDP	-	Gerador de Distribuição Público
GT	-	Grupo de Trabalho
EEG	-	<i>Erneuerbare Energien Gesetz</i>
EPE	-	Empresa de Pesquisa Energética
ESS	-	Encargos de Serviço do Sistema
MCP	-	Mercado de Curto Prazo
MME	-	Ministério de Minas e Energia
MRE	-	Mecanismo de Realocação de Energia
ONS	-	Operador Nacional do Sistema
PRD	-	Programa de Resposta da Demanda
PL	-	Projeto de Lei
PLD	-	Preço de Liquidação de Diferenças
PLS	-	Projeto de Lei do Senado
RED	-	Recursos Energéticos Distribuídos
RTP	-	<i>Real-time pricing</i>
SIN	-	Sistema Interligado Nacional
TOU	-	<i>Time-of-Use</i>
VPP	-	<i>Virtual Power Plant</i>
TVPP	-	<i>Technical Virtual Power Plant</i>

## SUMÁRIO

<b>1.0</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	MOTIVAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2.0</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1	RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS .....	16
2.2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	16
2.3	RESPOSTA DA DEMANDA.....	17
<b>2.3.1</b>	<b>RESPOSTA DA DEMANDA BASEADA EM PREÇOS .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>RESPOSTA DA DEMANDA BASEADA EM INCENTIVOS .....</b>	<b>20</b>
2.4	SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO .....	21
2.5	VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	22
2.6	MICRORREDES.....	23
<b>3.0</b>	<b>USINAS VIRTUAIS DE ENERGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1	COMPONENTES DE UMA VPP .....	28
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE VPPS.....	30
3.3	EXPERIÊNCIA NACIONAL E INTERNACIONAL.....	32
<b>4.0</b>	<b>CONTEXTO REGULATÓRIO BRASILEIRO.....</b>	<b>36</b>
4.1	MODERNIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO.....	36
4.2	ABERTURA DO MERCADO DE ENERGIA.....	37
4.3	MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA .....	39
4.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	41
4.5	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	41
4.6	ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA.....	43
4.7	PROGRAMA PILOTO DE RESPOSTA DA DEMANDA.....	45
4.8	TENDÊNCIA DAS VPPS NO BRASIL.....	46

<b>5.0</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO

Em 2019 foi publicada a Portaria MME nº 187/2019 (Ministério de Minas e Energia, 2019 [46]) instituindo o Grupo de Trabalho, objetivando desenvolver propostas de modernização do setor elétrico, com foco em temas como a inserção das novas tecnologias e mecanismos de formação de preços. Esta modernização do setor elétrico brasileiro passa através da ampliação da Geração Distribuída – GD, e das possibilidades que ela traz para todo o setor.

Uma das possibilidades trazidas pela geração distribuída é a descentralização do setor elétrico que, segundo SIMONE (2019, p.27 [68]), “tem o potencial de alterar profundamente a estrutura dos sistemas elétricos”, uma vez que há um fluxo bidirecional de energia elétrica, o que gera baixo impacto ambiental, possibilita o adiamento de investimentos e custos relacionados à expansão de sistemas de transmissão e distribuição além da diversificação da matriz energética.

Associados ao crescimento da geração distribuída estão os mecanismos de resposta da demanda sob forma de agregação de carga. A resposta da demanda é um mecanismo que intervém permitindo o gerenciamento do consumo de energia elétrica e respondendo à variabilidade nos preços (EPE, 2019 [34]). Esses mecanismos permitem atribuir maior confiabilidade ao sistema, além de permitir maior controle sobre a volatilidade tarifária e, do ponto de vista de operação, reduzir os onerosos despachos termelétricos. A redução de custos ocorre através do deslocamento ou da modificação da curva de carga em determinados horários.

Ainda, cabe destacar que agregadores de carga podem auxiliar, também, na melhoria e eficiência da operação do sistema elétrico, na manutenção dos níveis de tensão nas barras e na frequência do sistema, além de possibilitar a melhor utilização de recursos hidrelétricos.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Encontra-se na Agenda Regulatória da ANEEL dos biênios 2021-2022 e 2022-2023 (ANEEL, 2021 [1]) a discussão a respeito da preparação da regulação para expansão dos recursos energéticos distribuídos, inclusos os temas de resposta da demanda, como usinas virtuais de energia e microrredes.

Uma usina virtual de energia, do inglês *Virtual Power Plant*, ou VPP, é uma rede descentralizada e interconectada entre indivíduos, onde seus recursos energéticos podem ser utilizados em unidade e consonância de acordo com a necessidade do sistema, seja através da prestação de serviços ancilares ou conforme estratégias de mercado.

De acordo com NEXT KRAFTWERKE (2020 [56]), uma empresa pioneira e responsável por operar uma das maiores usinas energéticas virtuais da Europa define uma VPP como:

“Uma rede descentralizada de unidades de geração de energia de média escala como fazendas eólicas, parques solares e a combinação de termelétricas, bem como de consumidores flexíveis e sistemas de armazenamento. As unidades interconectadas são despachadas através de uma sala central da VPP, mas nenhuma permanece independente em sua operação e propriedade”.

Baseado nas definições acima, as VPPs podem ser utilizadas como mecanismo de agregação de resposta da demanda, além de agregação de geração descentralizada, reduzindo os custos de geração do sistema como um todo, através da negociação e comercialização dos recursos energéticos agregados pelo sistema.

O sistema elétrico e o mercado energético brasileiro são complexos e é necessário profundo conhecimento e entendimento de como todas as variáveis técnicas e comerciais envolvidas se relacionam para manter um sistema economicamente viável e competitivo. Desta forma, vistas as vantagens que podem ser oferecidas pela implantação de usinas energéticas virtuais, faz-se necessário um entendimento do cenário atual brasileiro, tanto regulatório quanto comercial para que sirva de base na modelagem dos sistemas das usinas, possibilitando sua implantação no país.

Uma usina virtual de energia é uma rede de distribuição de recursos energéticos distribuídos, responsável por entrelaçar múltiplas fontes de energia, como fazendas eólicas ou solares, consumidores flexíveis com sistemas de geração e armazenamento ou até mesmo termelétricas. Todos estes recursos podem trabalhar juntos como uma planta de energia convencional por meio de um sistema de controle que coordena este fluxo de energia, conforme a necessidade do sistema ou estratégias de mercado.

As VPPs estabelecem novas formas de gerar, gerenciar e comercializar energia elétrica, uma vez que trazem benefícios, como a redução de gases poluentes, melhor aproveitamento dos recursos físicos, já que estabelece menor distância entre os pontos de geração e consumo, o que possibilita a produção de energia a custos menores e também

possibilita a melhoria da qualidade da energia fornecida através da prestação de serviços ancilares como regulação de tensão e frequência da rede.

## 1.2 OBJETIVOS

Contextualizar as Usinas Virtuais de Energia e as suas bases no atual ambiente regulatório brasileiro, visando fornecer aspectos à implantação destas usinas, e identificar a tendência das VPPs no Brasil.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atender os objetivos propostos, o trabalho está estruturado em quatro capítulos, incluindo este introdutório, como indicado a seguir.

O Capítulo 2 descreve a fundamentação teórica do projeto, entre eles Recursos Energéticos Distribuídos, Veículos Elétricos, Sistemas de Armazenamento, Geração Distribuída, Microrredes e Resposta da Demanda.

O Capítulo 3 aborda as Usinas Virtuais de Energia, seus tipos e classificações, a experiência internacional e a primeira experiência nacional.

O Capítulo 4 apresenta o ambiente regulatório atual do Brasil sobre Geração Distribuída, Resposta da Demanda, Abertura de Mercado, Transição Energética, Modernização do Setor Elétrico e a Tendência das VPPs no Brasil, e, finalizando, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho.

## 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

Dá-se o nome de Recursos Energéticos Distribuídos – RED, ao conjunto de tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, atualmente compostas por:

1. Geração distribuída;
2. Resposta da demanda;
3. Sistemas de armazenamento;
4. Eficiência energética e
5. Veículos elétricos.

Os REDs podem ser implantados tanto no lado da demanda quanto no lado da oferta e a adoção destes sistemas energéticos distribuídos (BRADFORD & HOSKINS, 2013 [25]), propiciada pelo advento e desenvolvimento de tecnologias disruptivas permitiram uma mudança no paradigma tradicional do setor elétrico onde o consumidor desempenha um papel passivo em relação a energia elétrica consumida e passa a atuar de forma ativa na geração, armazenamento e gerenciamento de sua energia elétrica.

Estas tecnologias fazem uso de equipamentos inteligentes como medidores dotados de comunicação bidirecional, que permitem quantificar o fluxo de energia elétrica, seja demandada, seja fornecida, baterias capazes de estocar a energia elétrica produzida, dando ao consumidor maior autonomia e menor dependência da rede.

A inserção dos RED na matriz elétrica traz impactos significativos ao sistema e requer alterações regulatórias para que haja o correto aproveitamento dos recursos, sem gerar tensões econômicas, desperdícios de potenciais energéticos ou instabilidade quanto a segurança do sistema, uma vez que a utilização de fontes intermitentes tende a provocar desequilíbrios entre a oferta e a demanda.

### 2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Pode-se definir geração distribuída (GD) como a geração de energia elétrica realizada junto ou próximos das unidades consumidoras, conectadas diretamente ou indiretamente ao sistema de distribuição (ANEEL, 2021 [15]).

SIMONE (2019 [68]) descreve um sistema de geração distribuída como sendo um sistema: com geração de pequeno porte, localizado próxima à carga e conectada diretamente à rede de distribuição e que agregam diversos benefícios como: estabilidade e confiabilidade do sistema, redução ou postergação da necessidade de investimentos em geração e em linhas de



transmissão e distribuição, diversificação da matriz elétrica, redução de perdas técnicas e aumento da participação dos consumidores na expansão do sistema.

GERWEN (2003 [42]) cita também algumas razões para implementar geração distribuída:

- **Confiabilidade de energia:** existem negócios como *data centers*, operadoras de cartão de créditos e indústrias com altíssimo custo caso tenha de parar a sua operação, o que leva a optarem por um sistema mais robusto e confiável. Em comparação, a confiabilidade da rede prevê entre 1 a 9 horas de interrupções no período de um ano, enquanto a confiabilidade de um sistema de geração distribuída pode ficar na faixa de 30 segundos a 5 minutos de interrupção por ano.
- **Qualidade de energia:** algumas indústrias são extremamente sensíveis a perturbações na qualidade do sistema elétrico, como forma de contornar este problema está a geração de energia de qualidade localmente através da utilização de células de combustíveis.
- **Distância da rede elétrica:** existem áreas distantes onde não existem redes elétricas próximas, o que leva a necessidade de instalação de capacidade de geração de energia local.

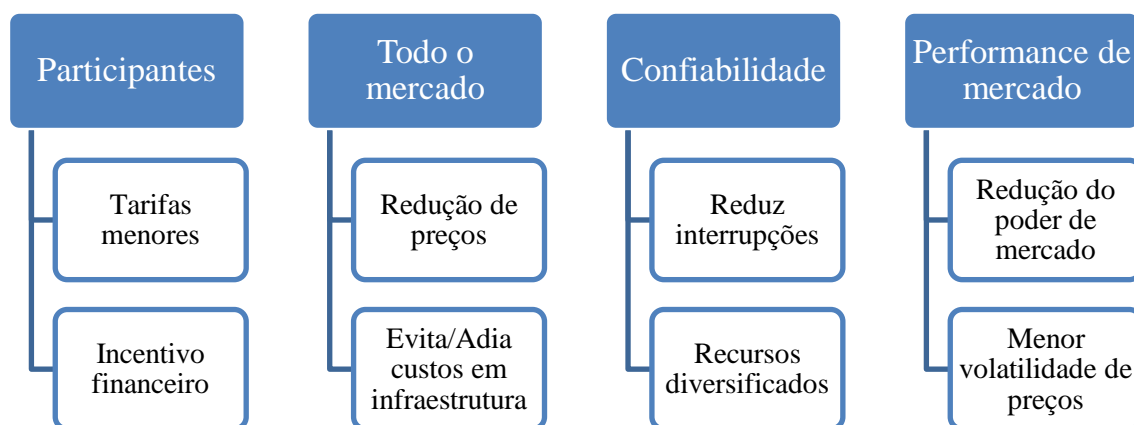
Embora o sistema de geração distribuída agregue diversas vantagens, também devemos citar seus impactos negativos, como: fluxo de potência reverso que afeta a estabilidade e dificulta o controle do sistema, além da inserção de harmônicos, que podem ocasionar desvantagens significativas pela necessidade de um maior controle de tensão e de frequência da rede. Em relação a proteção do sistema elétrico de potência está no ilhamento e na inserção de correntes desbalanceadas e também de curto-circuito.

### 2.3 RESPOSTA DA DEMANDA

O setor elétrico possui a característica de acoplamento temporal, ou seja, deve existir um equilíbrio em tempo real entre a geração e o consumo de energia.

Variações bruscas na demanda são capazes de desequilibrar geração e consumo, por esta razão, para o sistema operar de forma eficiente, deve-se manter um equilíbrio, mantendo baixas as variações de demanda, e neste ponto a flexibilidade introduzida pelos programas de resposta da demanda agregam muitos benefícios, sendo divididos por ALBADI & EL-SAADANY (2008 [20]), em quatro categorias principais, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Benefícios associados a Programas de Resposta da Demanda



Fonte – Adaptado de Albadi & El-Saadany (2008 [20])

De acordo com ALBADI & EL-SAADANY (2008 [20]) existem três meios pelos quais pode-se atingir uma resposta do consumidor.

- 1) Consumidor altera seu padrão normal de uso em momentos de sobrecarga do sistema, em que a energia está mais cara, o que envolve perda temporária de conforto, por exemplo, ao desligar o condicionamento de ar.
- 2) Consumidor desloca seu padrão de uso, neste caso, não há qualquer tipo de perda para o consumidor residencial que redistribui seu uso de energia em horários do dia de menor criticidade energética. Este caso pode ser um problema apenas para consumidores comerciais e industriais, que ao deslocarem o período de uso da energia têm gastos envolvidos com esta logística.

- 3) Consumidor gera sua própria energia, então não observa impactos significativos em sua rotina de uso de eletricidade. Deve-se atentar que para as distribuidoras pode ter um impacto significativo, pois estas estratégias reduzem a demanda.

A maior inserção de energias renováveis promoveu uma transição do sistema elétrico de um ponto em que existia um suprimento fixo de energia junto de uma demanda variável para um sistema mais dinâmico, onde tanto o suprimento de energia quanto a demanda são variáveis. Para lidar com essa dinamicidade e manter o sistema com um funcionamento ótimo são necessárias soluções efetivas do lado da demanda (BALASUBRAMANIAN & BALACHANDRA, 2021 [23]).

A resposta da demanda atua como mecanismo para que o consumidor exerça papel ativo na operação do sistema através do gerenciamento de seu consumo, seja por meio de sua redução ou deslocamento para horários fora de ponta, tendo sua responsividade atrelada ou a preços, onde o consumidor fica sujeito à tarifas diferenciadas de acordo com a hora ou período de utilização e/ou a incentivos, recebe incentivos financeiros para reduzir ou deslocar sua demanda em momentos de estresse ou sobrecarga do sistema elétrico.

Os participantes de programas de resposta da demanda (PRD) alteram seus padrões de consumo respondendo às variações de preço, ou então são beneficiados com pagamentos de incentivo ao reduzirem ou deslocarem seu consumo em momentos de estresse da rede, como forma de garantir a confiabilidade do sistema elétrico (ALBADI & EL-SAADANY, 2008 [20]).

Os PRD contribuem com a modicidade tarifária, introduzindo reduções sistemáticas no preço final da energia elétrica, uma vez que com a redução da demanda máxima e com o deslocamento do consumo para horários fora de ponta, reduz-se a necessidade de despacho de usinas térmicas e permite retardar ou evitar novos investimentos na infraestrutura do sistema elétrico, como na geração e transmissão, que além de demandarem grandes quantias de capital, têm possibilidade de impacto ambiental e possuem prazos de execução longos.

A adesão dos consumidores aos PRD contribui com a confiabilidade e diversifica as formas de suprir a demanda da rede, tornando o sistema mais robusto, seguro e estável, com minimização da exposição dos agentes a fragilidades como faltas e interrupções.

A flexibilidade da demanda introduzida pelos participantes dos PRD torna o mercado menos suscetível à volatilidade de preços e reduz o poder de mercado dos geradores de energia.

### **2.3.1 RESPOSTA DA DEMANDA BASEADA EM PREÇOS**

Os programas de resposta da demanda baseados em preços são aqueles em que o valor da tarifa de energia elétrica está atrelado a dias e/ou horários específicos, onde os horários de pico têm o maior preço, e espera-se que o consumidor responda à estas variações tarifárias reduzindo ou deslocando seu consumo para os momentos de menor solicitação da rede, e por consequência, onde a energia estará com preços menores.

Entre estes programas existem diversos modelos tarifários, como:

*Time-of-use* – TOU: neste modelo tarifário o dia é dividido blocos com diferentes preços unitários, refletindo o custo médio da geração e transmissão da energia elétrica.

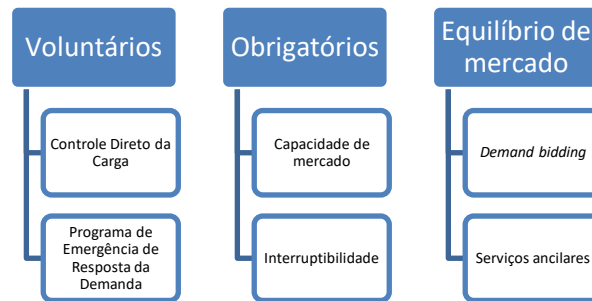
*Real-time pricing* – RTP: os valores tarifários se aproximam dos valores reais de geração e transmissão hora a hora, e oscilam de acordo com o mercado. Normalmente os participantes deste programa são informados dos preços com um dia ou com horas de antecedência.

*Critical Peak Pricing*: este modelo é similar ao TOU e ao RTP, e o consumidor paga tarifas mais altas em dias em que a rede está sobrecarregada ou sob contingenciamento e tem reduções tarifárias em períodos em que a rede é menos solicitada.

### **2.3.2 RESPOSTA DA DEMANDA BASEADA EM INCENTIVOS**

Segundo MOGHADDAM *et al* (2011 [54]), os programas de resposta da demanda baseados em incentivos podem ser divididos em três categorias: voluntários, obrigatórios e de equilíbrio de mercado. Nos programas classificados como voluntários os participantes não são penalizados devido a não redução da demanda, enquanto em programas obrigatórios, os participantes ficam sujeitos a penalizações ao não atenderem às solicitações e metas de redução de carga solicitadas pela concessionária ou pelo operador do sistema. Nos programas classificados como equilíbrio de mercado, os participantes têm a liberdade de negociar a quantidade de carga reduzida e o valor a ser pago por esta redução. A Figura 2 ilustra os programas existentes dentro de cada categoria.

Figura 2 – Classificação de programas de resposta da demanda baseados em incentivos



Fonte – Adaptado de Moghaddam *et al.* (2011 [54])

**Controle Direto da Carga:** neste programa, a concessionária pode desligar remotamente determinadas cargas dos participantes do programa mediante um aviso prévio.

**Programas de emergência de resposta da demanda:** nestes programas, o operador do sistema pode enviar solicitações de redução de carga em períodos de grande demanda que possam comprometer a segurança do sistema elétrico em troca de pagamentos financeiros

**Capacidade de mercado:** nestes programas os consumidores se comprometem com reduções de carga pré-determinadas para suprir as necessidades do sistema em períodos de contingência.

**Interruptibilidade:** nesta modalidade os clientes que aderirem recebem descontos tarifários ou créditos em suas faturas de energia elétrica por reduzir sua demanda mediante solicitação do operador do sistema.

**Demand Bidding:** são programas em que os participantes realizam ofertas de redução de carga no mercado de energia elétrica.

**Serviços ancilares:** os participantes destes programas realizam a oferta de redução de carga, podendo operar como reserva ou então como controladores de frequência.

## 2.4 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO

Os sistemas de armazenamento de energia são fortes aliados na difusão e penetração de fontes renováveis de energia no mercado, uma vez que permitem mitigar os efeitos causados pela natureza intermitente destes recursos energéticos.

A EPE (2019 [39]) emitiu um estudo sobre sistemas de armazenamento em baterias, e ressalta grande crescimento no número de projetos utilizando tecnologias de armazenamento por conta da redução de custos na sua produção e grandes vantagens, destacando as principais:

- “Alta densidade de energia, alta eficiência e baixíssimo tempo de resposta em operação;
- Flexibilidade tanto em capacidade de instalação (sistemas modulares e altamente customizáveis) quanto em possibilidade de alocação física (requer pequena área para instalação, baixa utilização de água ou ausência de emissão de poluentes na operação, sendo possível instalação em qualquer tipo de ambiente);
- Versatilidade de aplicações atendidas, desde sistemas onde são exigidas respostas instantâneas e de alta potência durante um curto intervalo de tempo, como também aplicações de maior duração; e
- Rápida instalação, com média de seis meses entre contratação e comissionamento além da portabilidade dos sistemas (geralmente instalados dentro de contêineres).”

Em contraste aos benefícios apresentados, CHOUDHURY (2022 [31]) destaca os problemas associados à sua integração, como: controle, proteção, estado de carga e de descarga das baterias, segurança, ciclos de vida, capacidade, confiabilidade e custo.

## 2.5 VEÍCULOS ELÉTRICOS

O crescimento e difusão de veículos elétricos está intrinsecamente associado tanto à qualidade quanto ao custo de sistemas de armazenamento. De acordo com estudo realizado por FITZGERALD *et al.* (2017 [40]), os veículos elétricos podem assumir a nível global a liderança de vendas entre os anos de 2025 e 2030, e com isso atuar como recurso energético distribuído ao prover grande gama de serviços à rede, desde resposta da demanda até a prestação de serviços ancilares como regulação de tensão, frequência e correção de fator de potência.

Entre os benefícios associados a veículos elétricos e indicados no estudo estão a possibilidade de evitar novos investimentos em infraestrutura da rede, melhorias à segurança do sistema e a promoção da maior integração de recursos energéticos provenientes de fontes intermitentes como a solar e eólica além de melhorar questões ambientais com a redução de uso de petróleo e redução de emissão de gases poluentes.

## 2.6 MICRORREDES

Assim como as Usinas Virtuais de Energia, as microrredes também podem envolver diversos recursos energéticos distribuídos como geração distribuída, programas de resposta da demanda e sistemas de armazenamento, tendo suas diferenças na sua forma de controle, área de atuação e propósito. Enquanto VPPs trabalham com um sistema *on-grid*, podendo atuar de forma independente da região geográfica, as microrredes são pequenas redes locais projetadas para operar de forma autônoma das redes tradicionais, auxiliando o sistema através da descentralização da geração de energia e armazenamento, trazendo impactos significativos para a confiabilidade (VERDIA [70]).

As principais diferenças entre Microrredes e VPPs são elencadas por VECKTA [69]:

- “Microrredes podem se conectar à rede tradicional ou operar de forma independente. VPPs estão estritamente vinculadas ao sistema;
- Microrredes são sistemas autocontidos (isto é, isolados da rede de energia principal) enquanto VPPs são uma combinação de recursos dependentes da infraestrutura da rede. Quando a rede está fora de funcionamento as VPPs não podem entregar energia aos consumidores;
- As microrredes requerem alguma capacidade para armazenamento local, como um sistema de baterias. As VPPs podem atuar com ou sem a presença de um sistema de armazenamento;
- Microrredes dependem de *hardwares* como controladores para as microrredes, inversores inteligentes e *switches* para funcionar, enquanto as VPPs dependem principalmente de medidores inteligentes e tecnologia da informação;
- Microrredes consistem de um conjunto fixo de recursos dentro de uma região geográfica delimitada, enquanto VPPs podem combinar uma grande variedade de recursos em uma grande região geográfica e agrega-las;
- Microrredes normalmente são comercializadas na forma de distribuição varejista (com foco no suprimento do usuário final), enquanto as VPPs são comercializadas no mercado atacadista;
- Microrredes atualmente encontram obstáculos legais e políticos, enquanto VPPs operam com menores restrições de operação ou desafios legais.”

### 3.0 USINAS VIRTUAIS DE ENERGIA

A inserção de Recursos Energéticos Distribuídos faz com que o mercado de energia se torne imprevisível e volátil, dificultando o planejamento energético e comprometendo a segurança e a estabilidade do sistema, portanto para que se tenha um melhor aproveitamento dos benefícios proporcionados pelos REDs é necessário que se adote um modelo de negócio capaz de valorizá-los economicamente (EPE, 2018 [38]). Uma VPP agrega múltiplos ativos de recursos energéticos distribuídos, formando uma rede descentralizada que funciona em conjunto de modo a prover mais capacidade à rede em situações de emergência ou de demanda crítica (ENEL X [32]).

RAAB *et al.* (2011 [63]) descreve o conceito de uma VPP como um modelo de agregação cujo objetivo é realizar a integração dos REDs e permitir sua participação no mercado como uma entidade única.

BRAUN (2009 [26]) caracteriza uma VPP como uma representação flexível de um portfólio de REDs que pode ser utilizada para fechamento de contratos no mercado de energia e oferecer serviços ao operador do sistema.

Para SAABORI *et al.* (2011 [66]), uma VPP “é composta de pela junção de várias pequenas unidades de geração distribuídas para formar uma “única unidade virtual de geração”, que pode atuar como uma unidade convencional capaz de ser visível e gerenciável em uma base individual”.

Muitos dos recursos distribuídos são considerados não despacháveis devido a sua natureza intermitente e seus resultados variáveis e magnitude sendo por vezes proibidos de entrar no mercado de eletricidade, nesse contexto surgem as VPPs como alternativa para o gerenciamento da geração distribuída, de forma a aumentar sua relevância no mercado, uma vez que ao realizar este gerenciamento de forma adequada uma VPP pode satisfazer não só as necessidades locais, como também da rede como um todo (SABOORI *et al.*, 2011 [66]).

Segundo KANG *et al.* (2017 [44]) a integração de recursos energéticos provenientes das fontes renováveis de energia à rede é algo desafiador devido a sua intermitência, o que pode ser resolvido através da utilização das VPPs que servem para agregar as capacidades destes recursos além de prover meios de integração e gerenciamento de forma descentralizada.

Para ROUZBAHANI *et al.* (2021 [65]) uma VPP tem um conceito prático, o de melhorar a eficiência do gerenciamento de energia e de facilitar a sua negociação, uma vez que utiliza as informações coletadas de todos os componentes do sistema para controlar e sincronizar fornecimento e demanda.



A utilização de VPPs é um importante recurso estratégico para mitigar a exposição dos agentes do setor ao Mercado de Curto Prazo (MCP), uma vez que permite realizar um controle eficiente tanto do lado da demanda quanto da geração de energia. O estudo de NAVAL & YUSTA (2021 [55]) explora os modelos de Usinas Virtuais de Energia mais rentáveis para cada modelo regulatório.

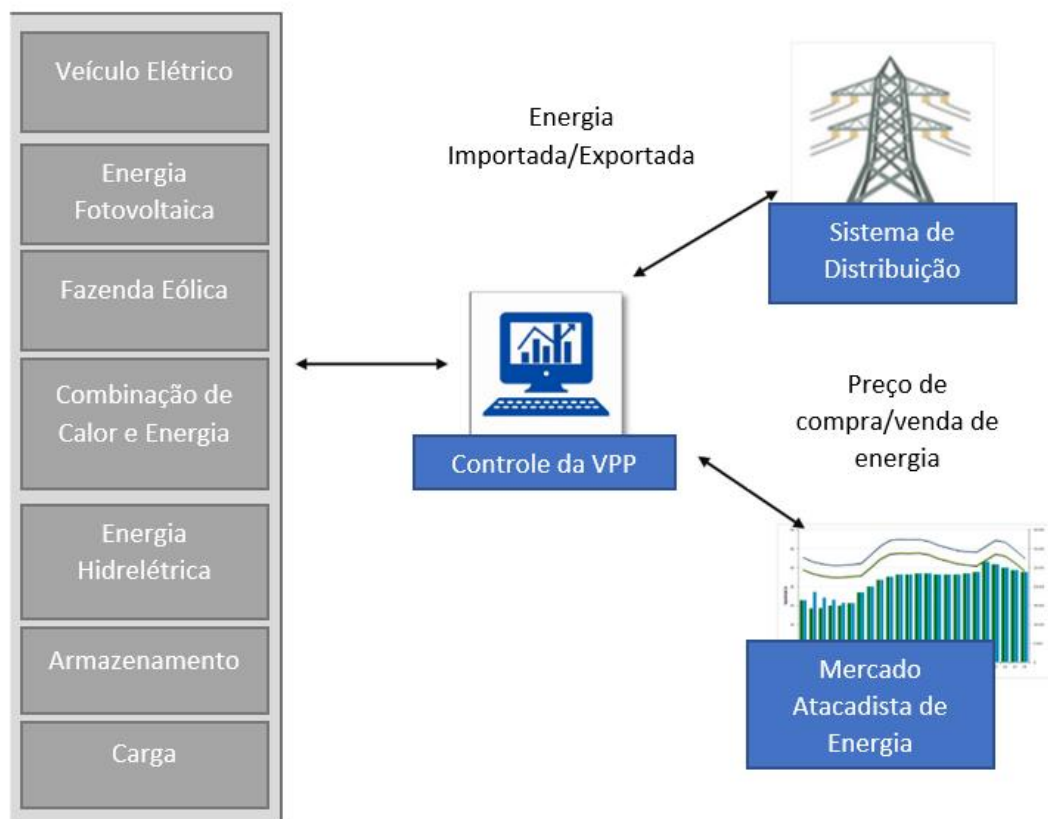
WANG *et al.* (2021 [72]) propõe em seu estudo um método para análise de viabilidade de usar VPPs baseado na teoria dos jogos cooperativos para trazer lucro tanto para o lado de geração quanto o lado da demanda. Foi discutido por WANG *et al.* (2021 [72]) que VPPs oferecem uma vasta gama de possibilidades para resolução de problemas relacionados à autossuficiência de energia, o que se busca, principalmente, são métodos de maximizar os lucros das VPPs. O estudo foi conduzido para análise de viabilidade em um Distrito Japonês, e constatou-se que a introdução de uma VPP poderia reduzir a demanda de pico em aproximadamente 40% e que duas partes com interesses conflitantes podem se beneficiar mutuamente aumentando seus lucros.

NAVAL & YUSTA (2021 [55]) classificam as VPPs em comerciais e técnicas, diferindo uma da outra pelo objetivo da sua aplicação. As VPPs comerciais têm como foco de operação a sua participação no mercado de energia, enquanto as VPPs técnicas têm como objetivo melhorar a qualidade da energia fornecida pela rede pela prestação serviços ancilares como controle de tensão e frequência da rede.

Ainda segundo NAVAL & YUSTA (2021 [55]) ao otimizar o controle e a coordenação entre as fontes de geração de energia e o sistema de armazenamento, uma VPP é capaz de satisfazer a demanda de eletricidade e obter ganhos capazes de dar a ela acesso aos mercados tradicionais de energia, rompendo barreiras de integração de energias renováveis na rede e fazendo-a alcançar um desenvolvimento sustentável.

A Figura 3 apresenta um diagrama típico de interação entre uma VPP, o mercado de energia e a rede.

Figura 3 – Diagrama de interação entre uma VPP e o mercado de energia e a rede



Fonte – Adaptado de NAVAL & YUSTA (2021 [55])

**Day-ahead market:** é um mercado financeiro onde todas as ofertas de compra e venda são feitas no dia anterior. Este mercado é de grande importância para as VPPs, uma vez que preços altos incentivam a venda do excedente de produção, e ainda segundo NAVAL embora em boa parte das vezes atue como um tomador de preços, em muitos dos casos age como um formador de preços, tornando-se um ponto favorável de modo a maximizar seus lucros.

**Mercado de serviços ancilares:** o mercado de serviços ancilares visa suprir a necessidade do sistema além de energia e capacidade, provendo os recursos necessários para recuperação do sistema em casos de desbalanços entre a geração e o consumo (KIRBY, 2007 [45]).

KIRBY (2007 [45]) divide os serviços ancilares em três categorias: serviço em condições normais, serviços em condições de contingência e outros serviços, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Categorias de serviços ancilares

Condições Normais	Condições de Contingência	Outros Serviços
Controle de frequência: recursos conectados à rede, em controle de geração automático com resposta rápida a variações	Reserva girante: geração ligada à rede capaz de reestabelecer os níveis da rede imediatamente quando necessário devido à grandes faltas de geração ou de transmissão	Controle de tensão: inserção ou absorção de energia reativa para manter as tensões dentro dos limites estabelecidos
Acompanhamento de carga: similar ao controle de frequência, porém é um processo mais lento	Reserva não-girante: igual à reserva girante, mas não precisa responder imediatamente	<i>Black start</i> : unidade geradora é capaz de entrar em operação independentemente de estar conectada à rede
	Reserva suplementar ou de reposição: utilizadas para reestabelecer os níveis da reserva aos estados de pré-contingência	

Fonte – Adaptado de KIRBY (2007 [45])

NAVAL & YUSTA (2021 [55]) ressaltam a importância de sistemas de armazenamentos robustos para garantir a estabilidade da rede, assegurando a entrada e garantindo a sua viabilidade econômica que podem surgir devido à intermitência atrelada a agregação de fontes renováveis de energia.

**Mercados futuros e Contratos Bilaterais:** atendem contratos de compra e venda de energia por valores e períodos pré-estabelecidos entre as partes, agregando segurança de preços e desarmando os riscos advindos da grande volatilidade de preços do *day-ahead market*. Já os contratos bilaterais são acordos entre compradores e geradores. A principal característica de um contrato bilateral é a grande durabilidade dos contratos, garantindo estabilidade e

previsibilidade de preços que possibilitam tanto a expansão do parque de geração de energia elétrica através de melhores condições de financiamento dos projetos quanto a lucratividade das VPPs.

**Mercado de reserva:** tem um caráter estratégico, através deste mecanismo é possível aumentar a segurança no fornecimento do sistema e garantindo lastro e cobertura da demanda para o sistema elétrico como um todo, e não garante lastro para agentes em específico e com isso mitiga possíveis apagões ou interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Para NAVAL & YUSTA (2021 [55]) este mercado tem maior relevância em momentos em que há maior demanda frente aos severos prejuízos que podem ser causados por contingenciamentos.

**Intraday market:** é um mercado onde as negociações acontecem no próprio dia, servindo principalmente para realizar pequenos ajustes nos volumes de energia compradas no *day-ahead market*.

**Mercado de balanceamento em tempo real:** representam mais uma oportunidade de ajustes e balanços energéticos geralmente variando entre 5 e 30 minutos antes do despacho de energia. NAVAL & YUSTA (2021 [55]) salientam a importância tanto do mercado de balanceamento em tempo real quanto do *intraday market* no contexto em que se aumenta cada vez mais a força de energias renováveis e sua natureza intermitente.

### 3.1 COMPONENTES DE UMA VPP

De acordo com SABOORI *et al.* (2011 [66]) uma VPP é composta principalmente de três partes: tecnologia de geração, tecnologia de armazenamento e tecnologia da informação, descritas a seguir.

- Tecnologia de geração

Gerador de Distribuição Doméstico (GDD): unidade geradora conectada normalmente à uma rede de baixa tensão, com ou sem sistema de armazenamento que atendem principalmente às categorias residenciais, comerciais e industriais, injetando o excedente na rede ou sendo abastecidos em casos de necessidade.

Gerador de Distribuição Público (GDP): é uma unidade de distribuição de geração que não pertence a um consumidor individual e seu foco principal é injetar seu excedente de produção na rede. Geralmente pode ser equipado com equipamentos de armazenamento de energia. Em comparação a uma GDD a GDP normalmente se refere

à um gerador com sistema de armazenamento conectado à uma rede de distribuição de média tensão.

- Tecnologia de armazenamento

Para SABOORI *et al.* (2011 [66]) os sistemas de armazenamento servem como meios para adaptar as variações da demanda de energia aos níveis de geração de energia, auxiliando o controle por meio de armazenamento, no caso de geradores não despacháveis ou estocásticos como turbinas de vento ou plantas fotovoltaicas.

- Tecnologias de comunicação da informação

SABOORI *et al.* (2011 [66]) elencam sistemas de comunicação, controle e aquisição de dados e centros de distribuição de despacho como fundamentais para uma VPP.

As tecnologias de comunicação e de informação são importantes no contexto das VPPs, pois elas permitem deslocar a intermitência dos REDs independentemente de sua localização (RAAB *et al.*, 2011 [63]).

- Veículos elétricos

O artigo de RAAB *et al.* (2011 [63]) apresenta diferentes estruturas para a integração de veículos elétricos em uma VPP. Ele introduz também o conceito de três tipos diferentes de controle para VPPs, o Controle Direto, Controle Hierárquico e o Controle Distribuído, descritos como segue.

- Controle Direto: neste modelo, os REDs respondem às requisições do controlador recebidas diretamente do Centro de Controle da VPP, sendo este o responsável por realizar a decisão e comunicar as requisições às unidades pertencentes à VPP. A característica deste modelo é uma comunicação direta entre o Centro de Controle e os recursos e a centralização do processo de tomada de decisões pelo Centro de Controle da VPP.
- Controle Hierárquico: no controle hierárquico são adicionadas algumas camadas de funções de agregação, onde existem módulos responsáveis por elaborar estratégias de mercado e enviá-las como entradas para o

Centro de Controle da VPP, além de realizar o gerenciamento dos REDs sob seu domínio.

- Controle Distribuído: a principal característica deste modelo é as entidades pertencentes à VPP decidirem seus pontos ótimos de operação; fazendo-se necessária a utilização de recursos computacionais adequados para realizar o processamento destes dados e a comunicação de suas decisões com a Central de Controle, que não possui acesso direto às operações dos REDs, mas que podem afetar suas decisões através de incentivos de preço.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE VPPS

ROPUSZYŃSKA-SURMA & WĘGLARZ (2019 [64]) descrevem dois critérios possíveis para classificar uma VPP, de acordo com: a eficiência e o tipo de modelo de regulação no setor de energia elétrica. Entre os tipos de VPP baseados em eficiência estão uma VPP técnica (TVPP) e uma comercial (CVPP), ambas sendo necessárias para oferecer os perfis agregados ao sistema de transmissão. Em relação ao tipo de regulação, os autores classificam em dois modelos, o Modelo Americano e o Modelo Europeu.

O modelo Americano tem como principal objetivo fornecer uma resposta flexível à demanda em tempo real. Utilizam-se de programas de resposta da demanda e de *critical-peak pricing* e a VPP atua da mesma forma que uma VPP tradicional, prestando serviços de regulação de capacidade de pico, de energia ou de confiabilidade da rede.

O modelo Europeu tem como principal objetivo o gerenciamento da oferta, que consiste principalmente em pequenas unidades de fontes de energia renováveis. O sistema pode ser potencializado pela participação de energia proveniente do mercado atacadista e pelo gerenciamento do uso da energia por consumidores comerciais.

Uma TVPP combina diferentes REDs de uma mesma região geográfica para produzir resultados similares a de uma planta convencional de energia (HANY ELGAMAL *et al.*, 2019 [43]). A principal atuação de uma TVPP no mercado é através da prestação de serviços ancilares, possibilitando de modo geral a visibilidade dos REDs ao operador do sistema ao otimizar a operação (SABOORI *et al.*, 2011 [66]).

O estudo realizado por BRAUN (2009 [26]) descreve os benefícios de uma TVPP para o sistema como um todo, como a visibilidade da unidade do RED para o operador do sistema, uso ótimo da sua capacidade para prover serviços ancilares incorporando as restrições da rede

local e sua contribuição para o gerenciamento do sistema, o que reduz riscos de indisponibilidade e diversifica os portfólios e capacidade se comparado a RED isolados.

SABOORI *et al.* [66] concordam com HANY ELGAMAL *et al.* [43] em que as CVPPs podem atuar além da sua região geográfica, atuando na agregação de múltiplos REDs com o objetivo de maximizar seus lucros. BRAUN (2009 [26]) reforça que as CVPPs realizam uma agregação comercial e não consideram nenhum aspecto de operação da rede como as redes de distribuição ativa.

Ainda segundo SABOORI *et al.* (2011 [66]), suas funcionalidades seriam a otimização da programação da produção baseada no potencial de geração e na previsão de demanda de consumidores. Entre as funcionalidades também são elencadas:

- Venda de energia proveniente de recursos energéticos distribuídos no mercado;
- Otimização diária e geração de programação;
- Construção e Submissão de propostas ao mercado e
- Previsão de consumo e de produção.

BRAUN (2009 [26]) ilustra o contexto de TVPPs e CVPPs no sistema e no mercado. Segundo ele a CVPP agrega os REDs em uma base comercial e maximiza seus benefícios de participação no mercado pela otimização do portfólio ao mesmo tempo em que provê as informações necessárias para as TVPPs, que necessitam de informações específicas dos REDs inseridos no seu sistema de distribuição, atuando cooperativamente, como pode ser visto na Figura 4.





**Alemanha:** uma das estratégias adotadas pela Alemanha em sua transição energética destaca-se pela redução das dependências de combustível fóssil a longo prazo pelo aumento do consumo de eletricidade proveniente de fontes renováveis de energia (CANDRA *et al.*, 2018 [30]).

**Geração Distribuída:** a Lei de Fontes de Energia Renovável (*Erneuerbare Energien Gesetz – EEG*), promulgada no ano 2000 é uma série de leis criadas para difundir a geração de energias renováveis baseado em um esquema tarifário chamado *Feed-in-Tariffs* (FiT) através de incentivos como contratos de longa duração e preços fixos para cada classe de tecnologia de geração renovável além de prioridades e garantia de despacho (ANEEL, 2021 [4]).

Ainda de acordo com ANEEL (2021 [4]), são fornecidos incentivos como isenção de qualquer tipo de cobrança para produção para consumo próprio e a obrigação por parte dos *Distribution System Operator* (DSO) de realizarem obras no sistema para conexão de novos geradores e de conectá-los prontamente.

**Resposta da Demanda:** os agregadores de carga são agentes que comercializam e fornecem energia, cujo modelo de negócio consiste primordialmente em associar e comercializar geradores, consumidores flexíveis e sistemas de armazenamento através do escalonamento de pequenas plantas ou cargas flexíveis em grandes quantidades e representá-los como uma unidade única nos mercados de energia (ENEFIRST, 2020 [33]).

Na Alemanha os agregadores são submetidos a contratos bilaterais com os consumidores, os Operadores do Sistema de Transmissão e Distribuição e com um Grupo de Responsabilidade de Balanço (participantes de mercado ou representantes legais responsáveis pelos desequilíbrios no mercado, uma vez que os agentes de mercado têm responsabilidade de equilibrar o sistema elétrico) e a empresa fornecedora de energia (BERLET *et al.*, 2017 [24]). Atualmente uma das maiores Usinas Virtuais de Energia na Alemanha é operada pela empresa norueguesa Statkraft, tendo sob seu controle o despacho centralizado de mais de 1500 unidades.

Entre 2008 e 2012 operou na Alemanha o projeto *eTelligence*, fundado pelo Ministério Federal Alemão de Assuntos Econômicos & Energia, que demonstrou os benefícios de uma VPP com a integração de geração variável junto de controle de cargas como a redução dos custos de aquisição de energia para cargas controláveis e a redução de desequilíbrios da geração variável devido a erros de previsão (FOCKEN, 2018 [41]).

Para FOCKEN (2018 [41]), 2012 foi um ano decisivo para o sucesso das VPPs na Alemanha, com mudanças nos modelos regulatórios e de negócio, com a obrigatoriedade da venda de energia proveniente de fontes renováveis no mercado atacadista e com remuneração extra para aqueles que dispuserem suas cargas para controle remoto de modo a reagir aos sinais do mercado. Tudo isso permitiu aos agregadores a flexibilidade de controlar a saída de seu portfólio de acordo com as condições de mercado, como seu desligamento em casos de preços negativos ou então atribuir uma lógica de ordem de mérito para realizar a escolha automática da solução mais barata de despacho dentro do seu portfólio de plantas de energia.

**Austrália:** recentemente a empresa Tesla lançou um sistema de Usinas Virtuais de Energia com o apoio do Governo Australiano baseado na conexão de uma rede de casas alimentadas por energia solar que através de seu sistema de painéis, sistemas de proteção e controle e primordialmente, de baterias, armazenam a energia gerada durante o dia para ser utilizada à noite. Através de uma VPP é possível aumentar a segurança do sistema elétrico de potência, despachando e provendo energia e potência para a rede em momentos emergenciais de modo a reduzir ou até mesmo evitar interrupções e apagões.

Uma das propostas da empresa é de que o cliente integrado à VPP possa definir um limite de reserva, e então, essa energia de reserva será preservada e não poderá ser despachada, além disso, o integrado poderá se beneficiar de créditos do sistema caso faça parte de algum sistema de Compensação de Energia Elétrica. A empresa tem uma proposta de economia de até 21% do custo padrão de eletricidade (conhecido por *Default Market Offer*) (TESLA [71]).

A AEMO (*Australian Energy Market Operator*) em parceria com diversos órgãos australianos realizou a “*AEMO’S Virtual Power Plant (VPP) Demonstration*”, sendo este um programa de trabalho para estudar as mudanças regulatórias e operacionais necessárias para realizar de maneira efetiva a integração de Recursos Energéticos Distribuídos no Mercado Nacional de Eletricidade (*National Electricity Market – NEM*).

Em setembro de 2021 a AEMO publicou o relatório final de divulgação do conhecimento adquirido durante a execução do projeto, onde extraíram-se as conclusões a seguir a respeito das VPPs. Fizeram parte do programa: oito portfólios de VPPs espalhados por todos os estados integrantes do NEM, com uma capacidade total registrada de 31 MW, e que embora qualquer tecnologia estivesse apta a participar, todas elas utilizavam baterias em seu portfólio; e cerca de 7150 consumidores (cerca de 25% deles foram residenciais com baterias registradas no NEM).

AEMO [19] destaca que durante o programa foram avaliados quatro aspectos importantes das VPPs, como a sua capacidade de:

- Participar nos mercados e prover serviços ancilares de controle de frequência, respostas aos sinais de preço de energia e de interagir com redes de distribuição;
- Prover visibilidade operacional;
- Melhorar a experiência do consumidor; e
- Lidar com ameaças cibernéticas.

O estudo aponta que VPPs que utilizam baterias são altamente eficientes ao prestar este tipo de serviço ancilar, mas deve-se ter atenção aos casos de sub entrega de energia, que ocorreram principalmente devido a mudanças inesperadas no *software* dos sistemas integradores.

## **4.0 CONTEXTO REGULATÓRIO BRASILEIRO**

### **4.1 MODERNIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO**

Um marco importante no processo de Modernização do Setor Elétrico foram as Consultas Públicas do MME de nº 21/2016 [49] e nº 33/2017 [50], que tratam respectivamente da expansão do mercado livre de energia elétrica e de propostas de medidas legais para viabilização do futuro do setor elétrico com sustentabilidade a longo prazo.

Existem várias tratativas para a abertura do mercado de energia. Em 2015 por iniciativa do Poder Legislativo foi proposto o PL 1917/2015 [27], seguido do PLS 232/2016 [67] que chegou à Câmara dos Deputados em fevereiro de 2021 como PL 414/2021 [29], também conhecido como PL da “Portabilidade da Conta de Luz”, que dispõe sobre a portabilidade da conta de luz, as concessões de geração de energia elétrica e a comercialização de energia elétrica com vistas à expansão do mercado livre de energia. Em agosto de 2021 foi aprovado o requerimento para realização de Audiência Pública para debate deste projeto de lei, que ao ser aprovado vai permitir que todos os consumidores tenham liberdade na escolha do seu fornecedor de energia elétrica, o que aumenta a concorrência no mercado de energia.

De acordo com a ABRACEEL (2021 [22]), a aprovação do PL 414/2021 [29] impulsiona o país no ranking internacional de liberdade de energia elétrica, aumentando a flexibilidade de negociação de preços, volume, prazos e fonte de energia, uma vez que o consumidor poderá optar pela contratação de fontes renováveis. Outra implicação direta seria a redução nos preços da fatura de energia elétrica e a previsibilidade de preços previamente definidos contratualmente.

Em 2019 o Ministério de Minas e Energia publicou a portaria de nº 187/2019 [46] instituindo o Grupo de Trabalho – GT para aprimorar propostas destinadas a Modernização do Setor Elétrico de forma competitiva e capaz de assegurar a financiabilidade e a sustentabilidade da expansão do setor e garantir sua estabilidade jurídica e regulatória (MME, 2019 [52]).

O GT elaborou em conjunto com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, Operador Nacional do Sistema – ONS e Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL um diagnóstico do setor divididos em 14 temas:

1. Formação de Preço;
2. Critério de Suprimento;
3. Lastro e Energia;
4. Abertura de Mercado;

5. Inserção de Novas Tecnologias;
6. Sustentabilidade da Distribuição;
7. Processo de Contratação;
8. Racionalização de Encargos e Subsídios;
9. Mecanismo de Realocação de Energia (MRE);
10. Sustentabilidade da Transmissão;
11. Sistemática de Leilões;
12. Alocação de Custos e Riscos;
13. Desburocratização e Melhoria dos Processos; e
14. Governança.

Foi estabelecido um plano de ação de modo a atuar em cinco frentes: no aperfeiçoamento da formação de preços e no MCP, modificação da contratação da expansão do sistema, preparação do segmento de distribuição para a abertura do mercado, distribuição dos custos da confiabilidade e segurança do sistema elétrico entre todos os consumidores e adequação do arcabouço regulatório para a neutralidade na inserção de novas tecnologias.

Por meio da Portaria MME nº 403/2019 [51] foi instituído o Comitê de Implementação da Modernização do Setor Elétrico – CIM com o intuito de viabilizar a execução deste plano de ação, que além dos 14 temas estabelecidos anteriormente, adicionou a frente intitulada “Integração Gás – Energia Elétrica”.

#### 4.2 ABERTURA DO MERCADO DE ENERGIA

O Decreto nº 5.163/2004 [57] caracteriza um consumidor livre de energia elétrica como aquele que, atendido em qualquer tensão, compre energia do mercado livre conforme o disposto nos artigos 15 e 16 da Lei nº 9.074 de julho de 1995 [59]. Estes consumidores podem contratar energia de qualquer fonte, sendo ela convencional ou incentivada. Inicialmente a carga mínima imposta por esta Lei era de 10.000 kW, atendidos em tensão mínima de 69 kV. No entanto, o Ministério de Minas e Energia publicou a Portaria MME nº 465/2019 [47] alterando a Portaria MME nº 514/2018 [48] que regulamenta os requisitos mínimos de demanda para caracterização de consumidores livres, estabelecendo uma abertura gradual do mercado livre de energia.

A Portaria garantiu os seguintes limites:

- Consumidores com carga igual ou superior a 1.500 kW a partir de 1º de janeiro de 2021 para consumidores atendidos em qualquer nível de tensão
- Consumidores com carga igual ou superior a 1.000 kW a partir de 1º de janeiro de 2022 para consumidores atendidos em qualquer nível de tensão
- Consumidores com carga igual ou superior a 500 kW a partir de 1º de janeiro de 2023 para consumidores atendidos em qualquer nível de tensão

O consumidor especial é aquele consumidor livre, que pode se unir em comunhão de interesse ou de fato, com carga maior ou igual a 500 kW que podem somente comprar energia especial, como solar, eólica, biomassa ou de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), conforme o estabelecido no artigo 26 da Lei nº 9.427 de dezembro de 1996 [60].

Com a obrigatoriedade de realização de estudo por parte da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e da ANEEL e sua apresentação até 31 de janeiro de 2022 sobre as medidas regulatórias necessárias para que se possa permitir a abertura do mercado livre de energia para consumidores com carga inferior a 500 kW, incluindo proposta de cronograma para esta abertura a partir de 1º de janeiro de 2024. O Projeto de Lei Nº 414/2021 [29] também prevê a redução dos limites para todos os consumidores em até 42 meses de sua publicação, e após os 42 meses, prevê que os consumidores com carga inferior a 500 kW poderão ser representados na CCEE por agentes varejistas.

De acordo com a Resolução Normativa nº 687/2015 [13] da ANEEL, a atividade de comercialização de energia elétrica compreende a compra e a venda de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, atividade que só pode ser exercida após a autorização da ANEEL e mediante adesão à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

Até o ano de 2015 a única forma de ingressar no Mercado Livre de Energia era através da comercialização atacadista. Esta forma de comercialização mostrou-se complexa, uma vez que a empresa que intendia comercializar energia deveria associar-se diretamente à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, tornando-se um agente da CCEE, o que impedia que muitos entrassem nesse mercado, pois um agente CCEE possui diversos deveres e obrigações, apresentar garantias financeiras, além de ser responsável por toda alocação de custos e operações de comercialização e da exposição ao risco.

A fim de diminuir a complexidade de adesão e facilitar o desenvolvimento do mercado livre de energia, através da Resolução Normativa nº 570/2013 [11] da ANEEL, posteriormente alterada pela Resolução Normativa nº 654/2015 [12], foi regulamentada uma nova modalidade

de comercialização de energia, denominada comercialização varejista, o que possibilitou maior atuação e participação de empresas de menor porte no mercado livre.

Na modalidade varejista o cliente que pretende comercializar no mercado livre de energia relaciona-se apenas com uma comercializadora varejista, responsável por toda a operação dos seus representados, desde a migração para o Ambiente de Contratação Livre – ACL, até a gestão de todos os procedimentos relacionados à sua operacionalização não sendo necessária sua adesão à CCEE.

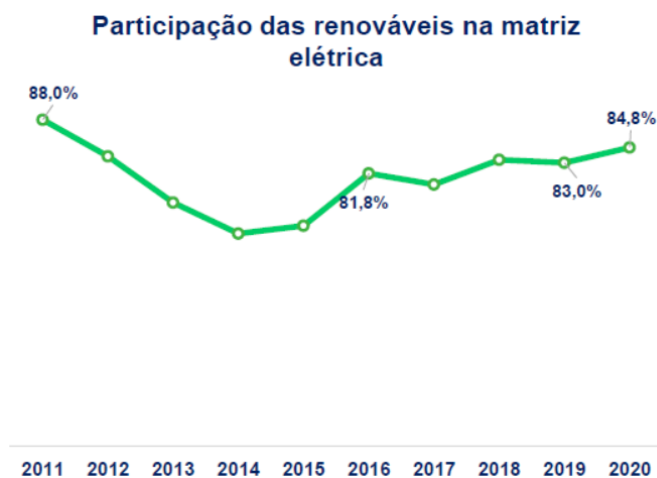
A Medida Provisória – MP nº 998/2020 [61], que se tornou a Lei nº 14.120/2021 [28] seguiu a série de modernizações do setor elétrico, sendo vista como uma minirreforma do setor, dispõe de temas diversos, entre eles o aprimoramento no agente comercializador varejista. Antes da lei ser promulgada existia grande risco associado à comercialização varejista de energia em razão da inadimplência dos consumidores representados, mas agora também está coberto pela lei o desligamento do consumidor representado pelo varejista e a suspensão do fornecimento de energia, o que reduz a judicialização e traz mais tranquilidade e segurança para os agentes de comercialização.

#### 4.3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A crescente preocupação mundial e o compromisso de países e empresas com questões ambientais impulsionaram o processo de descarbonização, onde busca-se a redução gradual, e definitiva a longo prazo da emissão de gás carbônico na atmosfera. Para atingir as metas estabelecidas no tratado, é importante realizar a diversificação da matriz energética através da substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis, bem como a inserção de REDs (Recursos Energéticos Distribuídos) provenientes de fontes limpas.

De acordo com o Balanço Energético Brasileiro – BEN, cerca de 84,8% da matriz elétrica brasileira é proveniente de fontes renováveis, e a sua participação está em ascensão (EPE, 2021 [37]), conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Evolução da participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira



Fonte – EPE (2021 [37])

Estima-se que as emissões de carbono na geração elétrica tenham sido reduzidas cerca de 12,4% entre os anos de 2019 e 2020 (EPE [36], [37]). Embora o nível de emissões de carbono na produção de energia elétrica esteja em declínio e a matriz elétrica brasileira seja predominantemente hidrelétrica, atualmente enfrenta-se uma situação hidrológica desfavorável, com baixíssimos níveis dos reservatórios levando a recorrentes despachos termelétricos, que além de aumentar as emissões, oneram significativamente os consumidores, tendo um impacto tarifário através dos Encargos de Serviços do Sistema (ESS). Tais despachos fora da ordem de mérito econômico são necessários para garantir a confiabilidade e a estabilidade do sistema elétrico, o que frisa mais uma vez a importância da diversificação da matriz energética e a adoção de recursos energéticos distribuídos.

O Acordo de Paris foi estabelecido e assinado por 195 países em 2015 durante a COP21 (21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas), cuja meta foi refrear o aumento médio de temperatura global a 2°C em comparação aos níveis pré-industriais e busca limitar o aumento de temperatura para 1,5°C em relação aos mesmos níveis pré-industriais por meio da redução da emissão de gases causadores do efeito estufa como forma de reduzir riscos e impactos das mudanças climáticas. A temperatura do planeta aumentou cerca de 0,5 °C nos últimos 100 anos e pode-se dizer que este aumento da temperatura média anual teve início na Revolução Industrial, momento em que a humanidade passa a utilizar de forma mais intensa e significativa a queima de combustíveis fósseis como matéria prima de geração de energia.



#### 4.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é considerada um dos mais importantes RED, que com o desenvolvimento da tecnologia aliando equipamentos de consumo reduzido e inteligentes, é capaz de retardar custos de infraestrutura com a expansão da geração e das redes de transmissão e distribuição, além de reduzir os valores de demanda de pico de energia elétrica, contribuindo com a segurança e confiabilidade do sistema. Além da redução de gastos estratégicos, a eficiência energética é uma ferramenta aceleradora da descarbonização, minimizando o número de despachos térmicos com consequência ambientais positivas, mitigando a emissão de gases causadores do efeito estufa.

#### 4.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A Geração Distribuída no Brasil é definida pelo artigo 14 do Decreto nº 5.163/2004 [57], como:

“Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I – hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II – termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do **caput**.”

Em abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482 [15], que regulamenta e estabelece o regime jurídico e as condições gerais para acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e trata sobre o sistema de compensação de energia elétrica, este, segundo POULLIKKAS *et al.* (2013 [62]) é uma política que permite que consumidores compensem seu consumo de energia elétrica com a energia produzida por sistemas de fontes de energia

renováveis. Este sistema utiliza medidores bidirecionais capazes de contabilizar o fluxo de energia em ambos os sentidos. No Brasil, tem-se a definição deste sistema como sendo a energia ativa injetada pela unidade consumidora que possui um sistema de micro ou minigeração distribuída através do empréstimo gratuito desta energia à distribuidora local, sendo compensada com créditos para o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL [16]).

A REN 687/2015 [18] alterou a REN 482/2012 [15] trazendo novas modalidades para classificar as unidades consumidoras que fazem uso do sistema de compensação de energia. Nela também foram definidas as condições para geração compartilhada e para o autoconsumo remoto. Com ela os créditos provenientes do sistema de compensação de energia elétrica que eram válidos por 36 meses passam a valer por 60 meses.

Em janeiro de 2022 foi instituída a Lei Nº 14300/2022 [73], conhecida como o Marco Legal da GD, que torna o mercado mais atrativo, pois estabelece diversas oportunidades e desafios para o setor. Esta resolução estabelece mudanças significativas em diversos temas como: valoração dos créditos, anteriormente existia a compensação integral de todas as componentes tarifárias, agora algumas componentes deixarão de ser compensadas gradualmente e de maneira escalonada. Outro ponto de destaque está na possibilidade de comercializar os excedentes de energia com as distribuidoras por meio de chamada pública ainda a ser regulamentada pela ANEEL.

Geração compartilhada: através deste disposto fica permitido a união entre consumidores sob a mesma área de concessão de uma distribuidora seja por cooperativas ou via consórcio para viabilizar a instalação de micro ou minigeração e compartilhar entre si os créditos de energia gerados. Com a Lei 14300/2022 houve uma flexibilização na geração compartilhada, que agora pode ser estabelecida via consórcio, cooperativa, associação e também por condomínio civil (voluntário ou edifício).

O autoconsumo remoto: permite que o consumidor instale um sistema de micro ou de minigeração em um local diferente de sua residência para fins de compensação de energia, desde que as Unidades Consumidores (UC) estejam sob a mesma concessionária e mesma titularidade.

Maior celeridade na conexão da geração distribuída: salvo casos em que exista a necessidade de adequações ou outros tipos de pendências, a distribuidora de energia deve empregar celeridade na conexão de unidades geradoras ao sistema, com o prazo de 34 dias para a microgeração e de 49 dias para a minigeração.

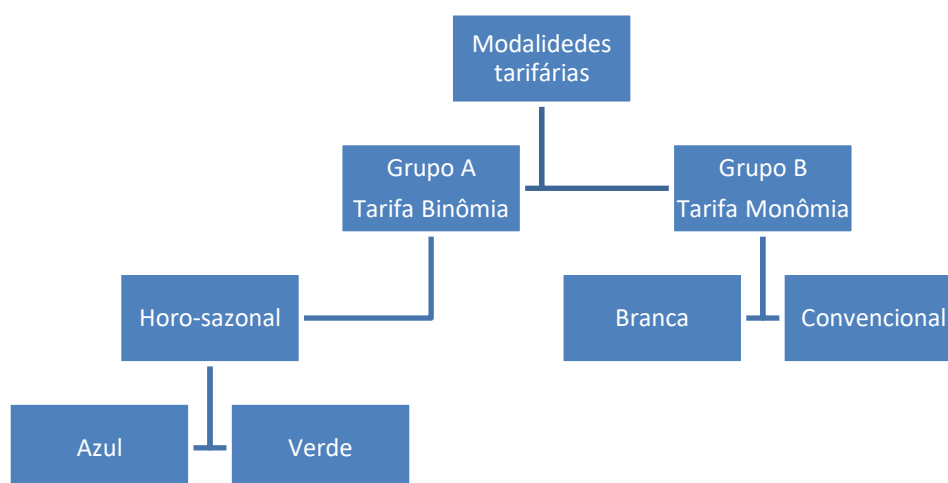
#### 4.6 ESTRUTURA TARIFÁRIA BRASILEIRA

Atualmente existem no Brasil duas grandes classificações, a tarifa monômnia, aplicada ao grupo B (tensão inferior a 2,3 kV), ou seja, aos consumidores conectados em baixa tensão, que considera somente o volume de energia consumido e a tarifa binômnia, aplicada ao grupo A (tensão superior a 2,3 kV), ou seja, aos consumidores conectados em alta tensão, é um modelo tarifário multipartes, dotado de um custo fixo relativo à demanda de potência e a infraestrutura necessária para atender cada consumidor e um custo variável relativo ao consumo volumétrico de energia elétrica (ANEEL, 2018 [17]).

A tarifa binômnia foi regulamentada pela Resolução Normativa – REN 479/2012 [7], e esta divisão entre produto (energia elétrica consumida) e serviço (infraestrutura e serviço de disponibilização do sistema) se dá para aprimorar a precificação da energia, uma vez que os custos fixos para manutenção do sistema operativo não têm relação com a quantidade de energia consumida, sendo estes custos repartidos entre todos os consumidores, independente do seu consumo da capacidade do sistema ou repassados às distribuidoras, causando prejuízos financeiros (ANEEL, 2018 [17]).

O Brasil também conta com modalidades tarifárias horo-sazonais para clientes dos grupos A e B, em que são aplicadas tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e/ou de demanda de potência a depender do horário do dia, a Figura 6 ilustra a estrutura tarifária no Brasil.

Figura 6 – Modalidades Tarifárias no Brasil



Fonte – o autor

Clientes do grupo A podem se enquadrar ou na Tarifa Azul ou na Tarifa Verde, dependendo do seu subgrupo. A tarifa azul abrange todos os clientes dos subgrupos A1, A2 e A3 e se estende de forma opcional aos subgrupos A3a, A4 e AS, nela são aplicadas diferentes tarifas de consumo e de demanda, dependendo da hora do dia em que a energia é utilizada. A tarifa verde é aplicável aos consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS e também possui valores diferenciados a depender da hora da utilização da energia, no entanto existe apenas uma tarifa de demanda.

Por meio da REN 414/2010 [6], atualmente revogada pela REN 1000/2021 [74], a ANEEL regulamentou uma estrutura tarifária horo-sazonal para o grupo B como alternativa à tarifa convencional. Nela ficam definidos três blocos horários que servem como base para a diferenciação de tarifária: horário de ponta, horário intermediário e horário fora de ponta. As condições para aplicação desta nova modalidade tarifária foram estabelecidas posteriormente pela REN 733/2016 [8] da ANEEL. A tarifa branca começou a vigorar em 1º de janeiro de 2018, sendo disponível no primeiro momento apenas a consumidores com média anual de consumo superior à 500 kWh por mês e teve sua adesão liberada gradualmente aos demais consumidores. Em 2020 todas as unidades consumidoras do grupo B, com exceção às unidades consumidoras da subclasse baixa renda da classe residencial, da classe iluminação pública e as unidades com faturamento pela modalidade de pré-pagamento.

A tarifa branca é uma tarifa pertencente ao modelo TOU, e a definição dos períodos de aplicação dos postos tarifários de ponta, intermediário e fora de ponta ficam a cargo da distribuidora de energia, tendo como base a curva de carga de seus sistemas elétricos, e são submetidos à aprovação da Aneel.

O posto tarifário ponta deve contemplar um período de três horas diárias consecutivas, aplicados em cinco dias da semana, com exceções feitas nos finais de semana e feriados nacionais, conforme disposto pela REN 479/2012 [7], que alterou a REN 414/2010 [6] atualizando as condições gerais de fornecimento de energia elétrica.

O posto tarifário intermediário é o período que marca a transição entre os postos tarifários, tendo seu início uma hora antes do horário de ponta e seu fim uma hora após o término do horário de ponta. Por fim, o posto tarifário fora de ponta denota o período complementar aos horários definidos anteriormente.

#### 4.7 PROGRAMA PILOTO DE RESPOSTA DA DEMANDA

Em 2017 foi aprovada a criação do Programa Piloto de Resposta da Demanda através da REN 792/2017 [9]. O programa piloto foi implementado inicialmente para os consumidores habilitados pertencentes aos subsistemas Norte e Nordeste, com o intuito de avaliar a inclusão do processo de resposta da demanda como instrumento de operação do sistema como alternativa ao despacho termelétrico fora da ordem de mérito a fim de estabelecer maiores níveis de confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro e menores tarifações aos consumidores. A redução de carga evita o despacho de usinas, então o custo é arcado pelos agentes com perfil de consumo que seriam atendidos por estes despachos, a despesa é incluída nos Encargos de Serviços do Sistema – ESS. Para a remuneração dos agentes participantes do programa considera-se o montante reduzido (limitado ao valor despachado) pela diferença entre o preço da oferta vencedora menos o PLD.

Em 2019 o Operador Nacional do Sistema (ONS) em conjunto com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) a segunda nota técnica de análise do Programa Piloto. Não se pode extrair muitas conclusões acerca da efetividade do programa para o sistema elétrico em virtude da baixa adesão ao mesmo, justificada por barreiras geográficas, uma vez que o PRD abrangia somente os subsistemas Norte e Nordeste, desconhecimento do programa e seus benefícios por parte dos consumidores potenciais participantes além da falta de incentivos financeiros e segurança regulatória por conta do risco de liquidez do Mercado de Curto Prazo – MCP devido a judicialização do *Generation Scaling Factor* – GSF, o consumidor desafoga o sistema ao reduzir sua produção sem vantagens significativas que justifiquem sua adesão.

Com a finalidade de coletar maiores informações de modo a preencher as lacunas deixadas por suas fases iniciais o programa foi prorrogado até 27 de junho de 2022 por meio da REN 887/2020 [10] e da REN 911/2020 [14] com alterações significativas em seu texto.

O programa foi ampliado para todo o Sistema Interligado Nacional (SIN), e através da Portaria nº 460/2020 [53] do Ministério de Minas e Energia – MME exime os consumidores participantes do Programa de Resposta da Demanda do rateio da inadimplência no MCP resultante do Processo de Contabilização no âmbito da CCEE até 30 de abril de 2022, tornando-o mais atrativo.

Em 2021, durante o cenário de escassez hídrica, foi estabelecida a Resolução MME Nº 2/2021, instituindo o Programa de Incentivo à Redução Voluntária da Demanda para unidades consumidoras do SIN. Neste programa, são concedidos bônus em fatura para aqueles consumidores habilitados que reduzirem efetivamente a média do consumo de energia elétrica em montante igual ou superior a 10% por unidade consumidora do ambiente de contratação regulada.

#### 4.8 TENDÊNCIA DAS VPPS NO BRASIL

Em 2021 a ANEEL publicou a tomada de subsídios nº 011/2011 [2] para a elaboração de propostas de modelos regulatórios para a inserção de REDs, resposta da demanda, microrredes e usinas virtuais de energia, posteriormente emitindo a Nota Técnica de nº 0076-2021.

A perspectiva é de encontrar um espaço propício para a implantação de Usinas Virtuais de Energia e de Recursos Energéticos Distribuídos no Brasil devido ao processo de Modernização do Setor Elétrico brasileiro e às políticas de descarbonização do setor.

As VPPs estabelecem modelos de negócios através da agregação dos diversos recursos energéticos distribuídos disponíveis em seu portfólio. A viabilidade de existência destes modelos só é possível com avanço dos modelos regulatórios (criação de arcabouço regulatório específico para a implantação das usinas virtuais) e da crescente digitalização do setor elétrico.

Entre as políticas de modernização no Brasil estão a Abertura do Mercado de Energia Elétrica, gerando maior competitividade e atratividade de preços, dando ao consumidor maior poder de escolha uma vez que é facultado a este a livre negociação em relação aos preços, fonte de energia contratada, quantidade de energia firmada em contrato e duração do contrato além de garantir a previsibilidade orçamentária dos agentes. Está regulamentado pela Portaria MME Nº 514/2018 [48] a diminuição gradual de carga mínima para participar do mercado livre de energia, onde em janeiro de 2023 espera-se obter o fim do consumidor especial ao reduzir o limite para 500 kW. Até o fim de janeiro de 2022 a ANEEL e a CCEE devem apresentar estudo conjunto para abertura total de mercado (prevendo os consumidores com carga menor de 500 kW) e proposta de abertura prevista para início em janeiro de 2024.

O PL 414/2021 [29] também trata da abertura total de mercado com previsão da redução de limites para todos os consumidores em até 42 meses após a sua publicação, além da obrigatoriedade da representação por comercializador varejista para consumidores com demanda inferior a 500 kW.

Entre os entraves para a abertura imediata do mercado livre de energia está o cumprimento dos contratos de energia firmados pelas concessionárias de distribuição. A abertura gradual do mercado livre de energia de forma escalonada garante o respeito a estes contratos, o que reduz os possíveis efeitos causados pela sobrecontratação.

Sabe-se que as Usinas Virtuais de Energia atuam intensivamente através de *software*, tendo uma figura central de controle dos diversos REDs agregados em seu portfólio, tendo isto em vista, é de extrema importância ter a figura do agregador de carga bem definida e regulamentada. Também foi definida a figura do agregador de carga, onde fica facultado a qualquer pessoa jurídica que cumpra os requisitos estabelecidos pela ANEEL a atuação como agente varejista (independentemente de comercializar energia elétrica com seu representado) e a interrupção no fornecimento de carga ao consumidor varejista inadimplente, que agrega maior segurança jurídica e estimula o surgimento de novos agentes de comercialização.

Neste sentido, o comercializador varejista é agente muito importante para a implantação das VPPs no Brasil, juntamente com os aprimoramentos deste comercializador estabelecidos pela Lei 14.120/2021 [28], pelo PL 414/2021 [29] e pela REN 570/2013. Este agente poderia inclusive atuar como agregador de cargas da mesma forma que trata a REN 792/2017 [9] no programa piloto de resposta da demanda.

Dois possíveis modelos de negócios a serem implementados no Brasil são a comercialização de energia e a prestação de serviços ancilares. Espera-se que assim como os países pioneiros na implementação de VPP e com fortes e intensivas políticas de difusão e incorporação de recursos energéticos distribuídos conforme apresentado por ANEEL (2021 [3]), a implantação de VPPs no Brasil aumente a flexibilidade e a confiabilidade do sistema elétrico.

Mais um passo fundamental é o proposto na PL 414/2021 [29] com a obrigatoriedade da criação de um mercado de serviços ancilares após 30 meses de sua publicação de forma concorrencial, o que ampliaria o mercado para a atuação das VPPs.

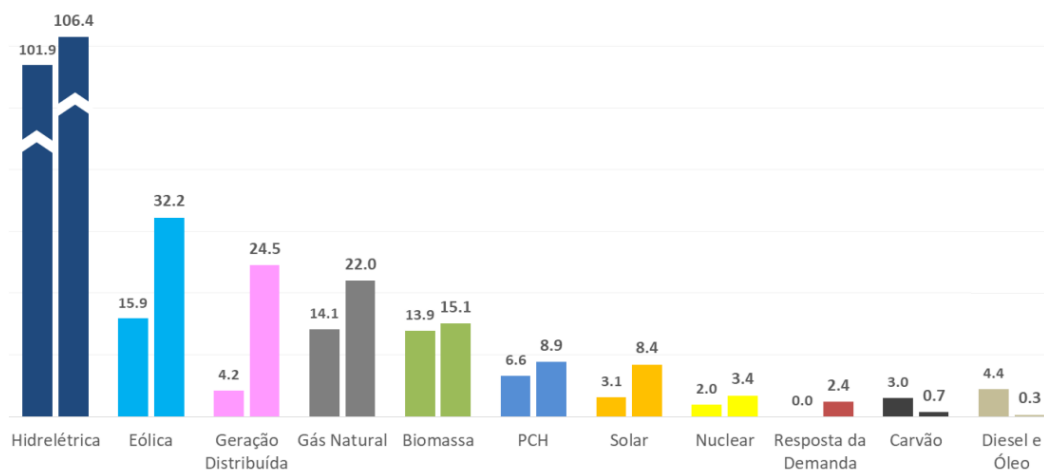
Outro passo importante foi dado em 2021, onde houve a conversão da MP 998/2020 [61] na Lei 14.120/2021 [28], regulamentando a possibilidade de contratação de reserva de capacidade para o atendimento de todas as necessidades do mercado nacional, e com isso houve o primeiro Leilão de Reserva de Capacidade, que vai ao encontro a projetos já discutidos pelo

Comitê de Implementação da Modernização (CIM), no que tange a separação entre lastro e energia. Este Leilão foi criado para suprir possíveis restrições de potência, assegurando assim maior confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro, o que garante a criação de um mercado de capacidade.

Com todas estas políticas de modernização e com o surgimento de tecnologias disruptivas, não é absurdo crer em uma mudança no panorama geral das distribuidoras, onde tornam-se claros os três Ds da transição energética: a descarbonização, descentralização e a digitalização.

Em relação a descarbonização, haverá uma mudança gradual da matriz elétrica brasileira, com a preferência pela utilização de fontes renováveis de energia, como já indicado pelo plano decenal de 2030 apresentado pela EPE [35], nas Figura 7 e 8, onde há uma mudança no cenário com o aumento da participação de fontes como solar e eólica na capacidade do Sistema Interligado Nacional (SIN).

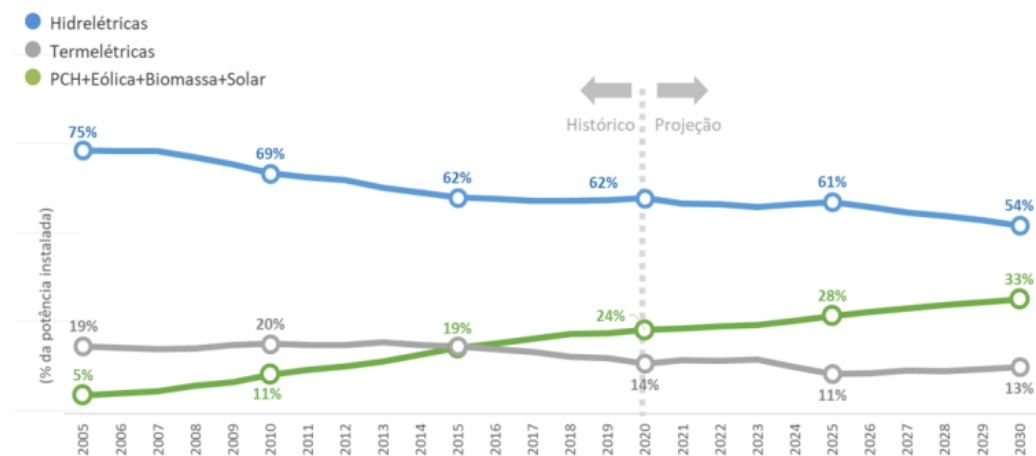
Figura 7 – Variação de capacidade instalada no horizonte decenal, por tecnologia (GW)



Fonte – EPE [35]



Figura 8 – Participação das fontes na capacidade instalada de geração centralizada



Fonte – EPE [35]

Em relação a descentralização, há uma mudança no papel do consumidor, que assume um papel cada vez mais ativo na cadeia do setor ao produzir energia e difundindo recursos energéticos distribuídos como geração distribuída, veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia. Essa mudança implica também em uma necessidade de remodelamento do papel das distribuidoras de energia, que devem passar a atuar como agregadores de serviços. A descentralização da geração é capaz de reduzir custos em investimentos em linhas de transmissão além de mitigar perdas. Neste contexto, as Usinas Virtuais de Energia (VPP) têm tomado grande relevância, tornando-se peça-chave para alcançar a descarbonização do setor elétrico.

A digitalização do setor elétrico também é um dos vetores para a implantação das VPPs no Brasil através de medidores inteligentes, *softwares* para controle dos dados e gestão da rede de energia, bem como para realização de despachos e para melhorias na eficiência da operação. Além disso, o desenvolvimento tecnologias e infraestruturas mais rebuscadas de comunicação de baixa latência possibilitarão obter melhores tempos de resposta do sistema, o que implica diretamente na qualidade dos serviços prestados.

A precificação da energia também é ponto de atenção, pois a existência de maior granularidade de preços capaz de refletir de forma mais fidedigna o custo real da energia estimula a criação de novos mercados e produtos para as VPPs, servindo como dados de entrada

para tomadas de decisões de despacho dos REDs agregados por seu portfólio. Em 2021 o preço da energia de curto prazo passou a ser horário e divulgado diariamente. A sofisticação do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) horário reflete a maior participação de fontes energias intermitentes, que vem acompanhando a evolução da matriz energética do país. Todavia, a legislação ainda tem pontos que precisam ser construídos e discutidos como, por exemplo, no tocante a sistemas de armazenamento de energia e a veículos elétricos.

## **5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A parcela de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira vem aumentando a cada ano, e o setor elétrico brasileiro está passando por um grande processo de modernização para se adaptar a esta realidade, trazendo melhorias e inovações em diversas frentes de atuação que vão desde a abertura do mercado de energia e formação de preços à criação de arcabouços regulatórios, que promovam a maior penetração dos recursos energéticos distribuídos no mercado.

As Usinas Virtuais de Energia têm grande potencial de atuação no Brasil através da agregação dos diversos REDs existentes atualmente. Embora ainda existam pontos de atenção que devem ser discutidos como políticas e regulamentações a respeito da inserção de veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia, além de entraves como as desvantagens técnicas inseridas pela geração distribuída e a mudança necessária no paradigma das distribuidoras de energia em relação a abertura do mercado livre, o arcabouço regulatório existente apresentou grandes avanços que criam um cenário propício para seu desenvolvimento, como a gradual abertura do mercado de energia, a sofisticação e maior granularidade do PLD, os aprimoramentos na figura do comercializador varejista e de programas piloto como o de resposta da demanda, além da criação do mercado de capacidade e da possibilidade de criação de um mercado de serviços ancilares.

## REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Agenda Regulatória 2021-2022**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/660863/21267827/Agenda+Regulato%CC%81ria+2021+2022.pdf/7bfd9bab-3a62-9af4-6d39-3cc21789827c>>. Acesso realizado em: 12 de agosto de 2021.
- [2]\_\_\_\_\_. **Tomada de Subsídio 011/2021**. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/tomadas-de-subsidios?p\\_auth=TRHseC70&p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideParticipacaoPublica=3563&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica](https://www.aneel.gov.br/tomadas-de-subsidios?p_auth=TRHseC70&p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideParticipacaoPublica=3563&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica)>. Acesso realizado em: 29 de dezembro de 2021.
- [3]\_\_\_\_\_. **Nota técnica N° 0076/2021 – Revisão Bibliográfica Sobre Recursos Energéticos Distribuídos**. Disponível em <[https://www.aneel.gov.br/tomadas-de-subsidios?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideDocumento=43948&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://www.aneel.gov.br/tomadas-de-subsidios?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=43948&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp)>. Acesso realizado em: 29 de dezembro de 2021.
- [4]\_\_\_\_\_. **Nota técnica N° 0076/2021 – Experiência Internacional Sobre Recursos Energéticos Distribuídos**. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/pt/tomadas-de-subsidios?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideDocumento=43949&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://www.aneel.gov.br/pt/tomadas-de-subsidios?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=43949&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp)>. Acesso realizado em: 29 de dezembro de 2021.

- [5]\_\_\_\_. **Portaria ANEEL Nº 6.665/2021.** Disponível em: <  
<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-aneel-n-6.665-de-18-de-maio-de-2021-320687754>>. Acesso realizado em: 18 de julho de 2021.
- [6]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 414/2010.** Disponível em: <  
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso realizado em: 19 de julho de 2021.
- [7]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 479/2012.** Disponível em: <  
<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2012479.pdf/a89312fe-a5d7-4151-96be-95765ea2ce03?version=1.0>>. Acesso realizado em: 20 de julho de 2021.
- [8]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 733/2016.** Disponível em: <  
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016733.pdf>>. Acesso realizado em: 16 de julho de 2021.
- [9]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 792/2017.** Disponível em: <  
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017792.pdf>>. Acesso realizado em: 13 de julho de 2021.
- [10]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 887/2020.** Disponível em: <  
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020887.pdf>>. Acesso realizado em: 17 de julho de 2021.
- [11]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 570/2013.** Disponível em:  
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013570.pdf>>. Acesso realizado em: 10 de março de 2021.
- [12]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 654/2015.** Disponível em:  
<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=282600>>. Acesso realizado em: 10 de março de 2021.
- [13]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 687/2015.** Disponível em:  
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso realizado em: 03 de setembro de 2021.
- [14]\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL Nº 911/2020.** Disponível em: <  
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020911.pdf>>. Acesso realizado em: 18 de julho de 2021.

- [15]\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa ANEEL N° 482/2012.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso realizado em: 03 de setembro de 2021.
- [16]\_\_\_\_\_. **Sistema de compensação de energia elétrica.** Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=/asset\\_publisher/view\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=/&\\_101\\_assetEntryId=15056099&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656835&\\_101\\_urlTitle=sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica&inheritRedirect=true](https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=/asset_publisher/view_content&_101_returnToFullPageURL=/&_101_assetEntryId=15056099&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=sistema-de-compensacao-de-energia-eletrica&inheritRedirect=true)>. Acesso realizado em: 08 de outubro de 2021.
- [17]\_\_\_\_\_. **Tarifa Binômia. Relatório de Análise de Impacto Regulatório N° 02/2018.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/4+Modelo+de+AIR++SGT++Tarifa-Binomia.pdf/ea152997-0f6e-b2d1-d443-8354cd2a380a>>. Acesso realizado em: 30 de agosto de 2021.
- [18]\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa N° 687/2015.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso realizado em: 15 de setembro de 2021.
- [19] AEMO. **AEMO NEM Virtual Power Plant Demonstrations.** Disponível em: <<https://aemo.com.au/-/media/files/initiatives/der/2021/vpp-demonstrations-knowledge-sharing-report-4.pdf?la=en>>. Acesso realizado em: 10 de novembro de 2021.
- [20] ALBADI, M. H.; EL-SAADANY, E. F. **A summary of demand response in electricity markets.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.EPSR.2008.04.002>>. Acesso realizado em: 01 de setembro de 2021.
- [21] AKTAS, A.; KIRÇIÇEK, Y. **Distributed Solar Hybrid Generation Systems.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/b978-0-323-88499-0.00010-0>>. Acesso realizado em: 25 de dezembro de 2021.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA (ABRACEEL). **Aprovação do PL 414/21 levará o Brasil para a 4ª posição no Ranking Internacional de Liberdade de Energia Elétrica.** Disponível em: <<https://abraceel.com.br/blog/2021/03/aprovacao-do-pl-414-21-levara-o-brasil-para-a-4a-posicao-no-ranking-internacional-da-liberdade-de-energia-eletrica/>>. Acesso realizado em: 23 de setembro de 2021.

- [23] BALASUBRAMANIAN, S.; BALACHANDRA, P. **Effectiveness of demand response in achieving supply-demand matching in a renewables dominated electricity system: A modelling approach.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111245>>. Acesso realizado em: 01 de setembro de 2021.
- [24] BERLET, R.; VON JAGWITZ, A.; JANDER, D. **Demand Side Management, Opportunities and Restrictions in the European Market.** Disponível em: <<https://www.goflex-project.eu/Down.asp?Name=%7BMJRHNNPNBR-712201810540-GPZIBWBPWV%7D>>. Acesso realizado em: 30 de dezembro de 2021.
- [25] BRADFORD, T. HOSKINS, A. **Valuing Distributed Energy: Economic and Regulatory Challenges.** Disponível em: <[https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/Valuing%20Distributed%20Generati on Economic%20and%20Regulatory%20Challenges.pdf](https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/Valuing%20Distributed%20Generation%20on%20Economic%20and%20Regulatory%20Challenges.pdf)>. Acesso realizado em 16 de junho de 2021.
- [26] BRAUN, M. **Virtual Power Plants in Real Applications Pilot Demonstrations in Spain and England as part of the European Project FENIX.** Disponível em: <<https://www.vde-verlag.de/proceedings-en/453194005.html>>. Acesso realizado em: 16 de junho de 2021.
- [27] CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei Nº 1917/2015.** Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=node0nazpxm3vuodfpszninnmnb718576106.node0?codteor=1348569&filename=PL+1917/2015](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node0nazpxm3vuodfpszninnmnb718576106.node0?codteor=1348569&filename=PL+1917/2015)>. Acesso realizado em: 03 de julho de 2021.
- [28]\_\_\_\_\_. **Lei Nº 14.120/2021.** Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2021/lei-14120-1-marco-2021-791100-publicacaooriginal-162358-pl.html>>. Acesso realizado em: 10 de janeiro de 2022.
- [29]\_\_\_\_\_. **Projeto de Lei Nº 414/2021.** Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=node0hp769zxokx9p1j2wprz9ee52e18577126.node0?codteor=1962928&filename=PL+414/2021+%28N%C2%BA+Anterior:+PLS+232/2016%29](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node0hp769zxokx9p1j2wprz9ee52e18577126.node0?codteor=1962928&filename=PL+414/2021+%28N%C2%BA+Anterior:+PLS+232/2016%29)>. Acesso realizado em: 03 de julho de 2021.

- [30] CANDRA, D.; HARTMANN, K.; NELLES, M. **Economic optimal implementation of virtual power plants in the German power market.** Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/en11092365>>. Acesso realizado em: 11 de novembro de 2021.
- [31] CHOUDHURY, S. **Review of energy storage system Technologies integration to microgrid: Types, control strategies, issues, and future prospects.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.est.2022.103966>>. Acesso realizado em: 11 de janeiro de 2022.
- [32] ENEL X. **Achieve a new standard of emergency preparation by participating in a Virtual Power Plant.** Disponível em: < <https://www.enelx.com/au/en/resources/a-new-standard-of-preparation-by-participating-in-a-vpp>>. Acesso realizado em: 16 de setembro de 2021.
- [33] ENEFIRST. **Enabling rules for demand response aggregators.** Disponível em: < [https://enefirst.eu/wp-content/uploads/5\\_ENABLING-RULES-FOR-DEMAND-RESPONSE-AGGREGATORS.pdf](https://enefirst.eu/wp-content/uploads/5_ENABLING-RULES-FOR-DEMAND-RESPONSE-AGGREGATORS.pdf)>. Acesso realizado em: 24 de dezembro de 2021.
- [34] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica – Resposta da Demanda: Conceitos, Aspectos Regulatórios e Planejamento Energético.** Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT\\_EPE\\_DEE-NT-022\\_2019-r0.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT_EPE_DEE-NT-022_2019-r0.pdf)>. Acesso realizado em 10 de agosto de 2021.
- [35]\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20Sumario%20-%20PDE%202030\\_rvFinal.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20Sumario%20-%20PDE%202030_rvFinal.pdf)>. Acesso realizado em: 29 de dezembro de 2021.
- [36]\_\_\_\_\_. **Relatório Completo do Balanço Energético Nacional de 2020 – Ano Base 2019.** Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf)>. Acesso realizado em: 16 de junho de 2021.
- [37]\_\_\_\_\_. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2021 – Ano Base 2020.** Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN\\_Síntese\\_2020\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_Síntese_2020_PT.pdf)>. Acesso realizado em: 16 de junho de 2021.
- [38]\_\_\_\_\_. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético.** Disponível em: <



[imprensa/noticias/Documents/ND%20-](#)

[%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADdos.pdf](#)>. Acesso realizado em: 16 de setembro de 2021.

[39]\_\_\_\_. **Sistemas de Armazenamento em Baterias.** Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098\\_2019\\_Baterias%20no%20planejamento.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf)>. Acesso realizado em: 03 de janeiro de 2022.

[40] FITZGERALD, G.; NELDER, C.; NEWCOMB, J. **Electric Vehicles as Distributed Energy Resources.** Disponível em: <[https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI\\_Electric\\_Vehicles\\_as\\_DERs\\_Final\\_V2.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI_Electric_Vehicles_as_DERs_Final_V2.pdf)>. Acesso realizado em: 05 de janeiro de 2022.

[41] FOCKEN, U. **Virtual Power Plants (VPP): Applications for Power System Management – Example Germany.** Disponível em: <<https://www.esig.energy/blog-virtual-power-plants-vpp-applications-for-power-system-management-example-germany/>>. Acesso realizado em: 11 de janeiro de 2022.

[42] GERWEN, R. J. F. V. **Systems and Applications. High-temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-185617387-2/50030-1>>. Acesso realizado em: 01 de janeiro de 2022.

[43] HANY ELGAMAL *et al.* **Optimization of a multiple-scale renewable energy-based virtual power plant in the UK.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113973>>. Acesso realizado em: 12 de setembro de 2021.

[44] KANG, Y.; LO, K.; KOCKAR, I. **Optimal Energy Management for Virtual Power Plant with Renewable Generation.** Disponível em: <<https://doi.org/10.4236/epe.2017.94b036>>. Acesso realizado em: 12 de setembro de 2021.

[45] KIRBY, B. **Ancillary services: Technical and Commercial Insights. The Orthopedic clinics of North America.** Disponível em: <[http://www.consultkirby.com/files/Ancillary\\_Services\\_-](http://www.consultkirby.com/files/Ancillary_Services_-)

[\\_Technical And Commercial Insights EXT\\_.pdf](#)>. Acesso realizado em: 24 de dezembro de 2021.

[46] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria Nº 187, de 4 de abril de 2019.** Disponível em: < [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70268736](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/70268736)>. Acesso realizado em 01 de agosto de 2021.

[47]\_\_\_\_. **Portaria Nº 465/2019.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-233554889>>. Acesso realizado em: 05 de junho de 2021.

[48]\_\_\_\_. **Portaria Nº 514/2018.** 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](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 realizado em: 05 de junho de 2021.

[49]\_\_\_\_. **Consulta Pública 21/2016.** Disponível em: <[http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p\\_p\\_id=consultapublicammeportlet\\_WAR\\_consultapublicammeportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&consultapublicammeportlet\\_WAR\\_consultapublicammeportlet\\_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=512001&detalharConsulta=true&entryId=512003](http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=512001&detalharConsulta=true&entryId=512003)>. Acesso realizado em: 01 de julho de 2021.

[50]\_\_\_\_. **Consulta Pública 33/2017.** Disponível em: <[http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p\\_p\\_id=consultapublicammeportlet\\_WAR\\_consultapublicammeportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&consultapublicammeportlet\\_WAR\\_consultapublicammeportlet\\_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=517270&detalharConsulta=true&entryId=517272](http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=517270&detalharConsulta=true&entryId=517272)>. Acesso realizado em: 02 de julho de 2021.

[51]\_\_\_\_. **Portaria Nº 403/2019.** Disponível em: < <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-403-de-29-de-outubro-de-2019-224516297>>. Acesso realizado em: 22 de setembro de 2021.

[52]\_\_\_\_. **Relatório do Grupo de Trabalho da Modernização do Setor Elétrico.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/36070/525274/Relatório+do+GT+Modernização+do>

[Setor+Elétrico.pdf/b49d5558-ad36-d268-c2e2-2f0e5331a6b4](#)>. Acesso realizado em: 01 de setembro de 2021.

[53]\_\_\_\_\_. **Portaria N° 460/2020.** Disponível em: <[http://antigo.mme.gov.br/documents/72128/975491/Portaria\\_n\\_460-2020/faff7de8-f0a8-1532-4390-ce6e44b7ca8e?version=1.0](http://antigo.mme.gov.br/documents/72128/975491/Portaria_n_460-2020/faff7de8-f0a8-1532-4390-ce6e44b7ca8e?version=1.0)>. Acesso realizado em: 02 de setembro de 2021.

[54] MOGHADDAM, M. P.; ABDOLLAHI, A.; RASHIDINEJAD, M. **Flexible demand response programs modeling in competitive electricity markets.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2011.02.039>>. Acesso realizado em: 01 de julho de 2021.

[55] NAVAL, N.; YUSTA, J. M. **Virtual power plant models and electricity markets - A review.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.111393>>. Acesso realizado em: 01 de agosto de 2021.

[56] NEXT KRAFTWERKE. **Virtual Power Plant: How to network distributed energy resources.** Disponível em: <<https://www.next-kraftwerke.com/vpp/virtual-power-plant>>. Acesso realizado em: 03 de abril de 2021.

[57] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – CASA CIVIL. **Decreto N° 5.163 de 30 de julho de 2004.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM)>. Acesso realizado em: 01 de novembro de 2021.

[58]\_\_\_\_\_. **Decreto N° 5.163 de 30 de julho de 2004.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM)>. Acesso realizado em: 01 de novembro de 2021.

[59]\_\_\_\_\_. **Lei N° 9.074 de 07 de julho de 1995.** Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19074cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19074cons.htm)>. Acesso realizado em: 02 de novembro de 2021.

[60]\_\_\_\_\_. **Lei N° 9.427 de 26 de dezembro de 1996.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19427compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427compilada.htm)>. Acesso realizado em: 12 de junho de 2012.

[61] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – SECRETARIA GERAL. **Medida Provisória N° 998 de 01 de setembro de 2020.** Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/Mpv/mpv998.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/Mpv/mpv998.htm)>. Acesso realizado em: 10 de maio de 2021.

[62] POULLIKKAS, A.; KOURTIS, G.; HADJIPASCHALIS, I. **A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/260290446\\_A\\_review\\_of\\_net\\_metering\\_mechanism\\_for\\_electricity\\_renewable\\_energy\\_sources](https://www.researchgate.net/publication/260290446_A_review_of_net_metering_mechanism_for_electricity_renewable_energy_sources)>. Acesso realizado em: 08 de outubro de 2021.

[63] RAAB, A. F. *et al.* **Virtual power plant control concepts with electric vehicles.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ISAP.2011.6082214>>. Acesso realizado em: 05 de dezembro de 2021.

[64] ROPUSZYŃSKA-SURMA, E.; WĘGLARZ, M. **The Virtual Power Plant-A Review of Business Models.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910801006>>. Acesso realizado em: 01 de dezembro de 2021.

[65] ROUZBAHANI, H. M.; KARIMIPOUR, H.; LEI, L. **A review on virtual power plant for energy management.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101370>>. Acesso realizado em: 03 de dezembro de 2021.

[66] SABOORI, H.; MOHAMMADI, M.; TAGHE, R. **Virtual power plant (VPP), definition, concept, components and types.** Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/APPEEC.2011.5749026>>. Acesso realizado em: 07 de dezembro de 2021.

[67] SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei do Senado Nº 232/2016.** Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=4115608&ts=1630445541645&disposition=inline>>. Acesso realizado em: 03 de julho de 2021.

[68] SIMONE, L. F. C. **Inserção da micro e minigeração distribuída solar fotovoltaica: impactos na receita das distribuidoras e nas tarifas dos consumidores.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-12082019-074055>>. Acesso realizado em 15 de agosto de 2021.

[69] VECKTA. **How to choose between a microgrid and a virtual power plant.** Disponível em: <<https://www.veckta.com/2021/05/20/virtual-power-plant/>>. Acesso realizado em: 12 de janeiro de 2022.

- [70] VERDIA PTY. **Microgrid & Virtual Power Plant (VPP)**. Disponível em: <<https://www.verdia.com.au/microgrid-virtual-power-plant-vpp/#:~:text=While%20a%20microgrid%20is%20often,central%20controlled%20while%20maintaining%20independence.>>. Acesso realizado em: 10 de janeiro de 2022.
- [71] TESLA. **South Australia's Virtual Power Plant: Frequently Asked Questions**. Disponível em: <[https://www.tesla.com/en\\_au/support/energy/savpp-faqs](https://www.tesla.com/en_au/support/energy/savpp-faqs)>. Acesso realizado em: 20 de dezembro de 2022.
- [72] WANG, YAFEI *et al.* **Evaluation of economic benefits of virtual power plant between demand and plant sides based on cooperative game theory**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2021.114180>>. Acesso realizado em: 09 de dezembro de 2021.
- [73] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Nº 14300/2022**. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso realizado em: 15 de fevereiro de 2022.
- [74] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **REN 1000/2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso realizado em 15 de fevereiro de 2022.
- [75] AES BRASIL. Projeto VPP (Virtual Power Plant) – Fase II. Disponível em: <<https://www.aesbrasil.com.br/pt-br/Inovacao>>. Acesso realizado em 15 de fevereiro de 2022.