

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

IGOR FERREIRA

**MICROGRIDS COMO FORMA DE INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA**

MONOGRAFIA

CURITIBA – PR

2017

IGOR FERREIRA

**MICROGRIDS COMO FORMA DE INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA – PR

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

IGOR FERREIRA

MICROGRIDS COMO FORMA DE INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 21 de agosto de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
Orientador - UTFPR

Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo
UTFPR

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

À minha esposa que nos momentos de
ausência me suportou e acreditou nesse
projeto que hoje se consolida.

A todos os brasileiros de bem que
acreditam no desenvolvimento das
energias renováveis no Brasil e no grande
Estado do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes no decorrer dessa jornada, mesmo sabendo que nem todos podem ser lembrados em palavras gostaria de registrar meu sentimento de gratidão aos que apoiaram e entenderam que não existe conquista sem o sacrifício necessário.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, pelas aulas ministradas em curso e por suportar o desenvolvimento da pesquisa neste tema.

Aos meus colegas de sala que muitas vezes deram suporte nas atividades do dia a dia de classe.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento aos meus pais, pois acredito que sem o incentivo deles ao estudo muitos desafios não teriam sido superados.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

FERREIRA, Igor. **Microgrids como forma de integração da geração distribuída fotovoltaica**. 2017. 60 pg. Monografia de Especialização em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017

Esta pesquisa apresenta o conceito de uma microgrid dentro do contexto de redes inteligentes de energia (*smart grid*). As microgrids são também caracterizadas como os blocos construtivos das *smart grids*, por isso apresenta-se uma abordagem teórico-conceitual desse modelo e dos princípios das microgrids no sistema de distribuição de energia elétrica do Brasil. Diferentemente de uma rede de distribuição de energia elétrica com geração distribuída, as microgrids se diferenciam pelo elemento chave do controle. Dessa forma a pesquisa demonstrou as possibilidades para integração da geração distribuída fotovoltaica aliada ao armazenamento de energia, tema esse objeto de uma chamada estratégica da ANEEL de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D 021/2016), explorando os desafios e oportunidades frente à intermitência da geração distribuída fotovoltaica que se encontra em franca expansão no Brasil.

Palavras-chave: Microgrids. Geração Distribuída. Energia Solar Fotovoltaica. Armazenamento de Energia. Smart Grid.

ABSTRACT

FERREIRA, Igor. **Microgrids as a means to integrate photovoltaic distributed generation**. 2017. 60 pg. Monograph of Specialization in Renewable Energy - Federal University of Technology - Paraná. Curitiba, 2017.

This research presents the concept of a microgrid in the context of the smart grids. The microgrids are also characterized as constructive blocks of the smart grids, therefore is presented an approach theoretical and conceptual of this model as well as the principles of the microgrids in the Brazilian energy distribution system. Differently from the distribution grid with distributed energy resources, the microgrid differentiates by the key element of the control. This way, the research demonstrated the possibilities for the integration of the photovoltaic distributed energy allied with the energy storage, subject of an research and development strategic call from ANEEL (P&D 021/2016), exploring the challenges and opportunities of the intermittency from photovoltaic distributed energy that are in current expansion in Brazil.

Keywords: Microgrid. Distributed Energy. Solar Photovoltaic. Energy Storage. Smart Grid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do Perfil da Geração de Energia Elétrica no Brasil.....	13
Figura 2 - Históricos de Vazões do Newave (CCEE) Fonte: Instituto Acende Brasil	14
Figura 3 - Estimativas de Evolução da Energia Armazenada Máxima Relativo À Carga	15
Figura 4 - Contratação de Energia de Leilões A0 e A1	16
Figura 5 - Preços no Mercado de Curto Prazo (PLD).....	16
Figura 6 - Demanda Máxima Instantânea (MW) - SIN e Subsistemas	17
Figura 7 - Consumo de Energia no Ambiente Livre (ACL)	18
Figura 8 - Consumo de Energia no Ambiente Regulado (ACR)	18
Figura 9 - Boletim Semanal da Operação (ONS)	20
Figura 10 - Resultados Semanais dos Programas Mensais da Operação (ONS).....	20
Figura 11 - Fluxo de Energia Elétrica - BEN 2016.....	24
Figura 12 - Dilema do Operador Nacional do Sistema	25
Figura 13 - Minimização do Custo de Operação	26
Figura 14 - Estados com Projetos Pilotos de REI.....	28
Figura 15 - Número de Conexões por Tipo de Fonte até Maio/17.....	33
Figura 16 - Paridade Tarifária no Mundo.....	34
Figura 17 - Metodologia de Projeção do Mercado Potencial Fotovoltaico	34
Figura 18 - Evolução do Mercado de Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos no Brasil.....	35
Figura 19 - Evolução da Capacidade Instalada Acumulada de GD Fotovoltaica	36
Figura 20 - Projeção de UCs com Microgeração Distribuída Fotovoltaica	37
Figura 21 - Evolução da Capacidade Instalada Acumulada de GD Fotovoltaica	38
Figura 22 - Demanda Potencial por SAE no Mercado Brasileiro	40
Figura 23 - Tecnologias de Armazenamento de Energia	40
Figura 24 - Crescimento do Mercado de Energia do SIN x Energia Armazenável Máxima ..	41
Figura 25 - Sistemas Químicos de Armazenamento de Energia	42
Figura 26 - Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)	45
Figura 27 - Arquitetura de Microgrid.....	47
Figura 28 - Elementos Controláveis de uma <i>Microgrid</i>	50
Figura 29 - Exemplo do perfil de carga diário.....	51
Figura 30 - Variação da demanda em 60 minutos.....	52
Figura 31 - O Princípio do Balanceamento de Carga.....	53
Figura 32 - O Princípio do Deslocamento de Picos.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenário do Número Acumulado de UCs com Sistemas Fotovoltaicos	36
Tabela 2 – Novo Cenário do Número Acumulado de UCs com Sistemas Fotovoltaicos	37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

GD	Geração Distribuída
UHE	Usina Hidrelétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
GLD	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
VPP	<i>Virtual Power Plant</i>
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

LISTA DE SIGLAS

PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
CMO	Custo Marginal de Operação
CVU	Custo Variável Unitário
BEN	Balanço Energético Nacional

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
IEA	<i>International Energy Agency</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.2.1	A Tempestade Perfeita.....	13
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
1.4	JUSTIFICATIVA	22
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	25
2.2	REDES INTELIGENTES	27
2.2.1	Medição Eletrônica	28
2.2.2	Comunicação	29
2.2.3	Sensoriamento	29
2.2.4	Computação	29
2.2.5	Tarifas Inteligentes	30
2.3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	30
2.3.1	Solar Fotovoltaica.....	33
2.4	ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	38
2.4.1	Armazenamento em Reservatórios	41
2.4.2	Armazenamento em Baterias	42
3	DESENVOLVIMENTO	43
3.1	MICROGRID	43
3.1.1	O Que é uma Microgrid	45
3.1.2	Microgrids Versus Plantas de Energia Virtuais	47
3.2	INTEGRANDO A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA.....	48
3.2.1	Elementos Controláveis em uma Microgrid.....	49
3.2.2	Armazenamento de Energia em Microgrids de Energia Renovável	50
3.2.3	Gestão de Energia.....	51
3.2.4	Supressão de Flutuação (Mitigação de Intermitência)	55
3.2.5	Reserva Girante	56
4	CONCLUSÃO	57
4.1	MICROGRID E O FUTURO NO BRASIL.....	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O mundo tem passado por transformações históricas em relação à forma como se percebe o clima na Terra. Importantes acordos climáticos, como o Acordo de Paris - ratificado pelo Brasil após aprovação pela Câmara dos Deputados e Senado Federal - apontam que não existe mais espaço para ausência de controle dos gases do efeito estufa (DECRETO LEGISLATIVO N°140, 2016).

Em linha com essa tendência, muitos países estão migrando suas formas de geração de energia elétrica para utilização de fontes renováveis, menos poluentes e de menor impacto ao meio ambiente. Em 2015 as energias renováveis superaram o carvão e se tornaram a maior fonte de capacidade de energia elétrica global (FINANCIAL TIMES, 2016).

1.1 TEMA

O cenário mundial favorável à ampliação do uso das energias renováveis também tem seus efeitos no Brasil, onde o crescimento desse tipo de energia tem sido relevante na diversificação da matriz hidrotérmica brasileira. Fontes como a energia eólica e solar começam a se consolidar no Brasil com futuro bastante promissor. Em especial, a energia solar fotovoltaica tem sido apontada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) como uma fonte promissora para utilização na Geração Distribuída (GD), pelo fato de a geração ocorrer próxima à carga. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a GD através da resolução N° 482/2012, posteriormente atualizada pela resolução N° 687/2015, permitindo ao consumidor a possibilidade de geração de sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, conectando-a a rede de distribuição.

No Brasil esta havendo um movimento em direção a implementação de redes elétricas inteligentes, as chamadas *Smart Grids*. Através da ANEEL, foi realizado o P&D 011/2010, e a partir daí o MME (Ministério de Minas e Energia) criou um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação do Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente. No Estado do Paraná a COPEL (Companhia Paranaense

de Energia) participou através do Projeto Paraná *Smart Grid*, que é uma iniciativa que se propôs a realizar aplicações de elementos de redes elétricas inteligentes.

Mais recentemente a ANEEL lançou um programa de P&D 021/2016 a respeito de arranjos técnicos e comerciais para inserção de sistemas de armazenamento de energia no setor elétrico brasileiro que se encontra em andamento, o que demonstra claramente que todos os elementos necessários para a inserção de Microgrids estarão presentes num futuro próximo.

1.1.1 Delimitação do Tema

Este estudo se restringe a analisar os elementos necessários para a consolidação das Microgrids e na forma como elas podem ajudar a integrar a geração distribuída fotovoltaica.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O SEB (Setor Elétrico Brasileiro) possui hoje um sistema predominantemente hidrotérmico, onde por muitos anos a matriz elétrica contou com um sistema de base hidroelétrica muito forte, porém esse perfil tem se alterado mais acentuadamente desde 2010 conforme ilustra a figura 1.

Desde os anos 2001 - quando se deu o racionamento de energia elétrica estabelecido pelo governo brasileiro - e os subsequentes apagões de 2005 a 2012 que, em maior ou menor escala, trazem dias de apreensão em relação ao SEB.

Tal cenário ilustra os desafios que se encontram a frente, ao mesmo tempo em que desenvolvimentos tecnológicos recentes apontam caminhos para que se possam minimizar os riscos dos males da falta de energia na sociedade moderna brasileira e servirão de premissas para o desenvolvimento dos raciocínios ligados a essa monografia.

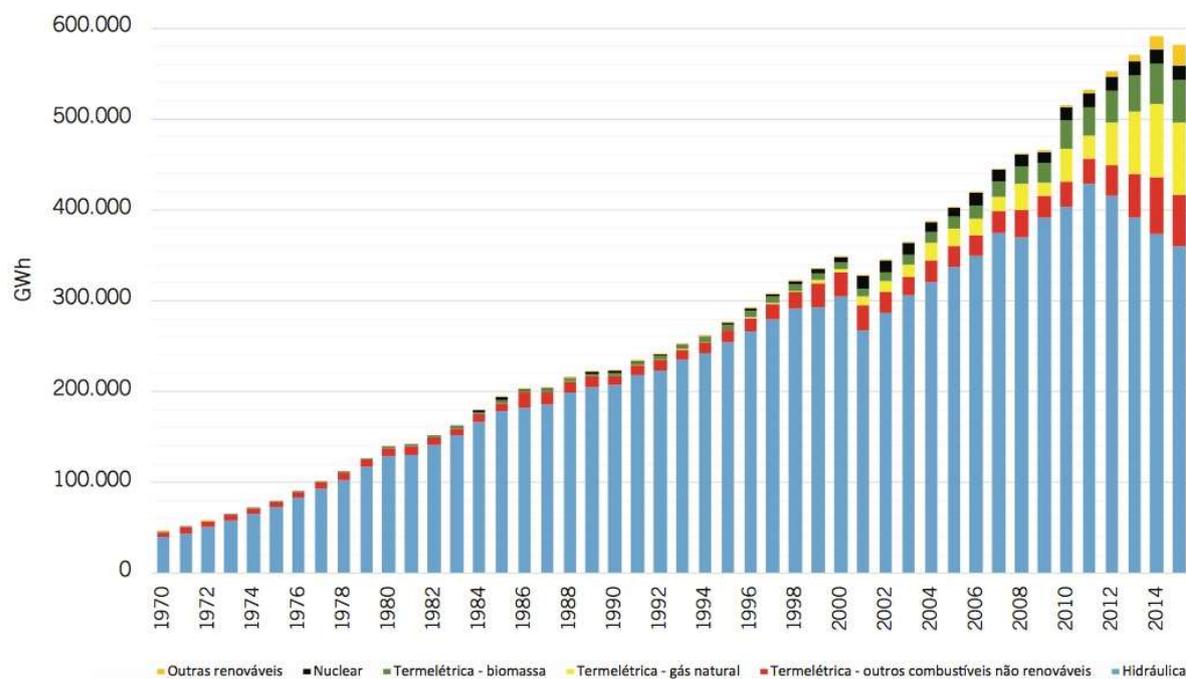


Figura 1 - Evolução do Perfil da Geração de Energia Elétrica no Brasil
Fonte: Instituto Acende Brasil - 2016

1.2.1 A Tempestade Perfeita

A expressão tempestade perfeita se refere à situação na qual um evento é drasticamente agravado pela ocorrência de uma rara combinação de circunstâncias. Os cinco elementos a seguir, caracterizam a problemática do SEB (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

1.2.1.1 Baixas Vazões Afluentes

A energia gerada numa hidrelétrica depende da Energia Natural Afluente (ENA)¹ e da quantidade de água disponível no reservatório da usina, isso considerando usinas com reservatório. A ENA entre 2012 e 2015 ficou sempre abaixo

-
- ¹ É a energia afluente a um sistema de aproveitamentos hidrelétricos, calculada a partir da energia produzível pelas vazões naturais afluentes a estes aproveitamentos, em seus níveis a 65% dos volumes úteis operativos (Nota Técnica ONS 011 de 03/11/02).

da média de longo prazo, como pode ser visto na Figura 2 (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

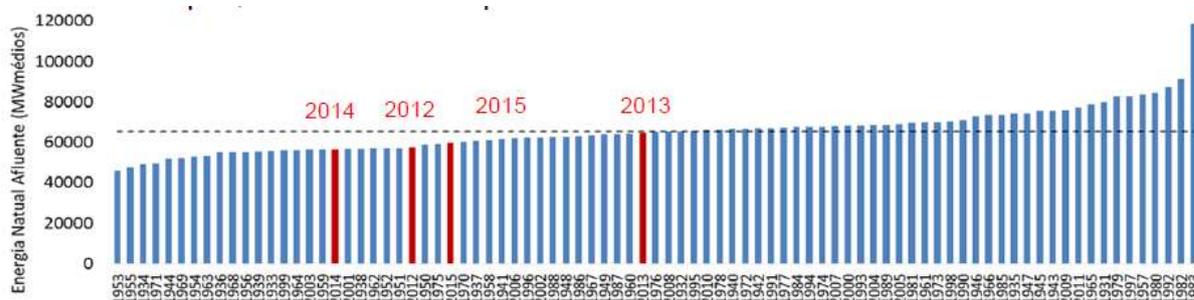


Figura 2 - Históricos de Vazões do Newave ² (CCEE).
Fonte: Instituto Acende Brasil.

Essa perspectiva de baixas vazões e a não diminuição do consumo criaram um crescente desequilíbrio na capacidade de armazenamento dos reservatórios das usinas brasileiras, como pode ser visto na figura 3, só tendo sido amenizado frente à queda no consumo de energia elétrica causado pela recessão econômica brasileira dos últimos 03 (três) anos (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

² O programa NEWAVE foi desenvolvido pelo CEPEL, para aplicação no planejamento da operação de sistemas hidrotérmicos interligados de longo e médio prazo, com representação agregada do parque hidrelétrico e cálculo da política de operação baseado em Programação Dinâmica Dual Estocástica (ELETROBRÁS – CEPEL).

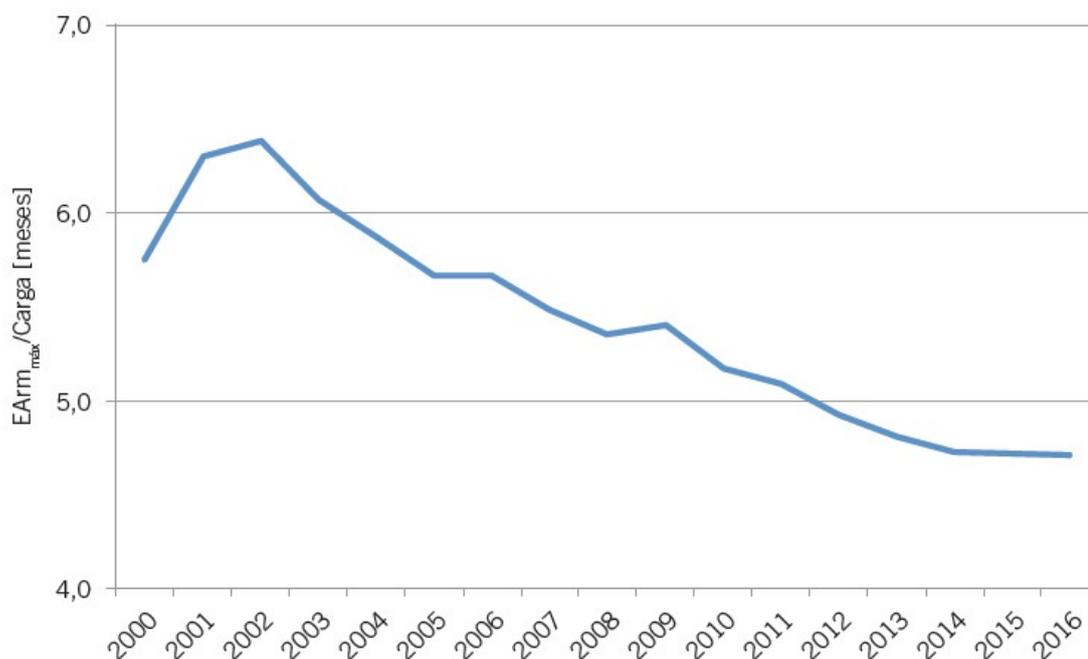


Figura 3 - Estimativas de Evolução da Energia Armazenada Máxima Relativo À Carga.

Fonte: Instituto Acende Brasil.

1.2.1.2 Atraso de Novos Empreendimentos

O Brasil sofreu atrasos na entrada de novos empreendimentos de geração e transmissão, a atribuição do acompanhamento do desenvolvimento das atividades é dada ao Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE). Segundo a ata da 124ª reunião do CMSE, realizada em 09/01/2013, a estimativa no início de 2013 era de que dos 42.276 MW referentes aos empreendimentos de geração, apenas 42% encontravam-se com data de entrega dentro da prevista. A mesma situação acontecia com as obras de transmissão, dos 14.497 km de linhas de transmissão, era observado que apenas 27% estava com data de entrega dentro da prevista.

A não entrada desses empreendimentos na data planejada exigiu um acionamento mais intenso das usinas disponíveis o que levou ao esvaziamento dos reservatórios das hidrelétricas existentes (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

1.2.1.3 Política de Contratação de Energia

Nos anos de 2012 e 2014 houve a expiração de mais de 17 GW médios de contratos de energia do 1º Leilão de Energia Existente, realizado em 2004. A

reposição, que deveria ser realizada por um leilão do tipo A1 não foi realizada devido à introdução da medida provisória MP 579, figura 4.

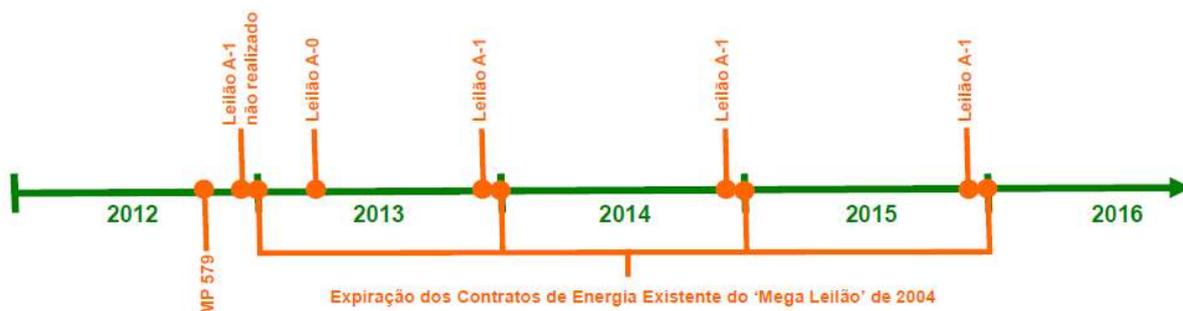


Figura 4 - Contratação de Energia de Leilões A0 e A1
Fonte: Instituto Acende Brasil

Na sequência de leilões A1 e A0 realizados em 2013, os preços tetos eram muito baixos frente ao preço no mercado de curto prazo (PLD) conforme ilustra a figura 5, o que levou a uma subcontratação das distribuidoras e corrida por elas a compras no PLD para atendimento dos seus clientes nos anos de 2013, 2014 e 2015 (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

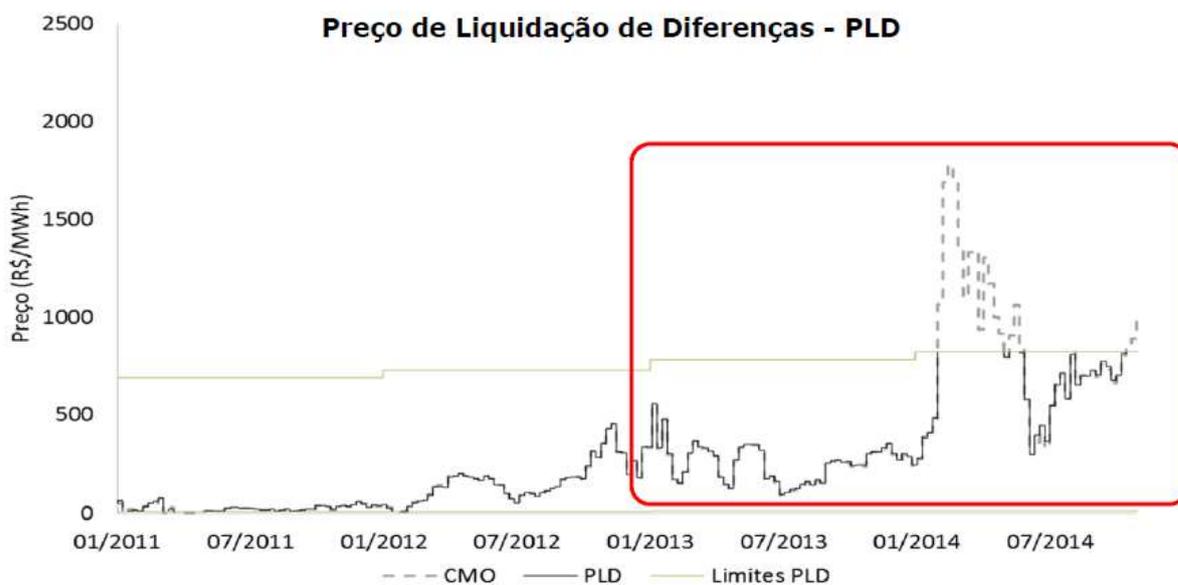


Figura 5 - Preços no Mercado de Curto Prazo (PLD)
Fonte: Instituto Acende Brasil

Ainda na esteira desses problemas, em 2011 e 2013 foram realizados leilões para início de suprimento em 2016. As projeções da demanda da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), figura 6, apontavam uma taxa de crescimento da

demanda no período 2011-2016 de 5,6% e em 2016-2021 de 4,0 % ao ano respectivamente, o que não se consolidou (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

Ano	Subsistema				Sistema		SIN
	Norte	Nordeste	Sudeste/CO	Sul	N/NE	S/SE/CO	
2011	4.750	10.506	44.758	14.410	14.997	57.764	71.052
2012	5.046	11.047	48.627	14.642	15.802	62.096	76.809
2013	6.968	11.626	51.989	14.973	18.165	65.724	82.800
2014	7.471	12.202	54.200	15.516	19.211	68.426	86.509
2015	7.856	12.736	56.194	16.077	20.109	70.933	89.874
2016	8.105	13.292	58.333	16.718	20.894	73.660	93.344
2017	8.392	13.933	60.608	17.410	21.800	76.571	97.114
2018	8.705	14.616	63.037	18.065	22.771	79.596	101.063
2019	9.138	15.282	65.561	18.742	23.843	82.737	105.226
2020	9.524	15.973	68.146	19.443	24.893	85.960	109.449
2021	9.828	16.747	70.712	20.146	25.944	89.166	113.656
Variação (% ao ano)							
2011-2016	11,3	4,8	5,4	3,0	6,9	5,0	5,6
2016-2021	3,9	4,7	3,9	3,8	4,4	3,9	4,0
2011-2021	7,5	4,8	4,7	3,4	5,6	4,4	4,8

Figura 6 - Demanda Máxima Instantânea (MW) - SIN e Subsistemas
Fonte: EPE Nota Técnica – DEA 16/11

1.2.1.4 Sinalização de Preços

Entre os anos de 2012 e 2015, frente à escassez hídrica e o intenso despacho das termelétricas, houve uma elevação nos preços do mercado de curto prazo (PLD). Porém os consumidores livres logo responderam a sinalização de preços provocando uma redução da demanda, conforme figura 7.

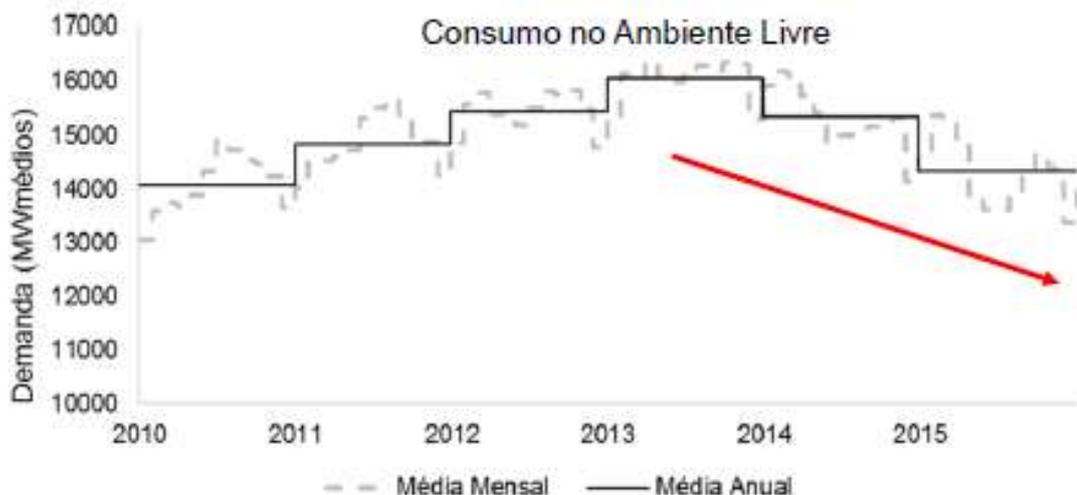


Figura 7 - Consumo de Energia no Ambiente Livre (ACL)
 Fonte: Instituto Acende Brasil

Porém a mesma sinalização não era recebida pelos consumidores do ambiente regulado, conforme figura 8, aonde as tarifas foram reduzidas em cerca de 20% em 2013 como consequência da Medida Provisória MP 579 (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

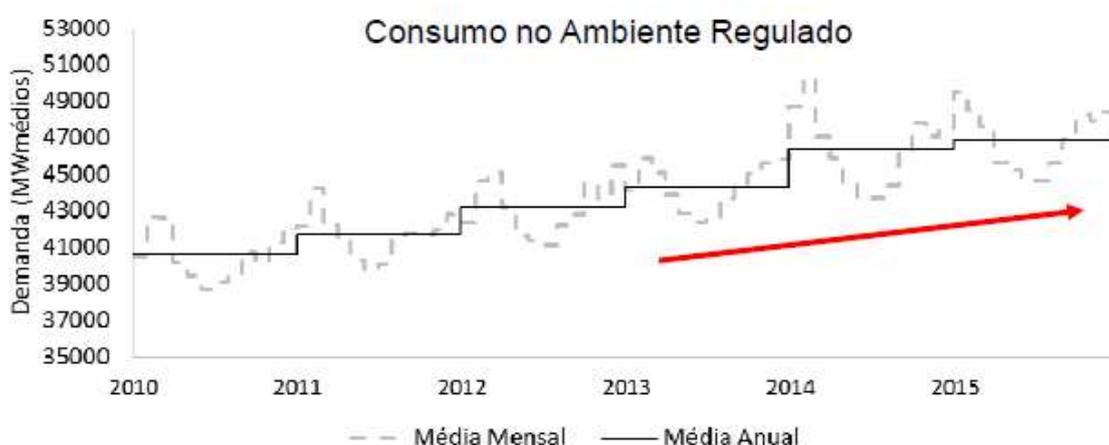


Figura 8 - Consumo de Energia no Ambiente Regulado (ACR)
 Fonte: Instituto Acende Brasil

É uma prerrogativa da ANEEL a aprovação dos limites de flutuação do preço PLD anuais mínimos e máximos. Em 2014, era permitido que o preço PLD flutuasse entre o PLD mínimo de R\$ 15,62/MWh e o PLD máximo de R\$ 822,83/MWh. Como forma de atenuar a intensidade dos sinais de preços no mercado de curto prazo, foi-se alterado os valores do PLD em 2016 para mínimo de R\$ 30,25/MWh e PLD máximo passou a ser de R\$ 422,56/MWh. Esse cálculo leva em consideração o Custo Variável

Unitário (CVU) dos empreendimentos termelétricos disponíveis para despacho centralizado.

1.2.1.5 Dissonância Entre Modelos e Operação

O modelo de acionamento das usinas no sistema brasileiro é realizado pela ordem de mérito, estabelecida pelos modelos computacionais, e privilegia o acionamento das usinas mais baratas primeiro. Porém, o CMSE tem permitido ao Operador Nacional do Sistema (ONS) a acionar as termelétricas preventivamente, mesmo quando não indicado nos modelos computacionais, a fim de aumentar a confiabilidade do suprimento de energia elétrica.

Em 2013, o acionamento de usinas fora da ordem de mérito estava tornando-se uma rotina, conforme ilustra a figura 9. Como forma de evitar esse problema e internalizar a aversão ao risco do operador nos modelos computacionais foi-se adotado a metodologia de aversão ao risco condicionado a certo valor (CVaR).

Dessa forma o despacho fora da ordem do mérito havia se tornado desnecessário, restaurando o fator de previsibilidade do sistema e a coerência entre planejamento e operação. Porém com a crise de suprimento, o despacho preventivo de termelétricas voltou a ser praticado em 2014 e acentuado em 2015, sinalizando a necessidade de novos aperfeiçoamentos dos modelos computacionais (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2016).

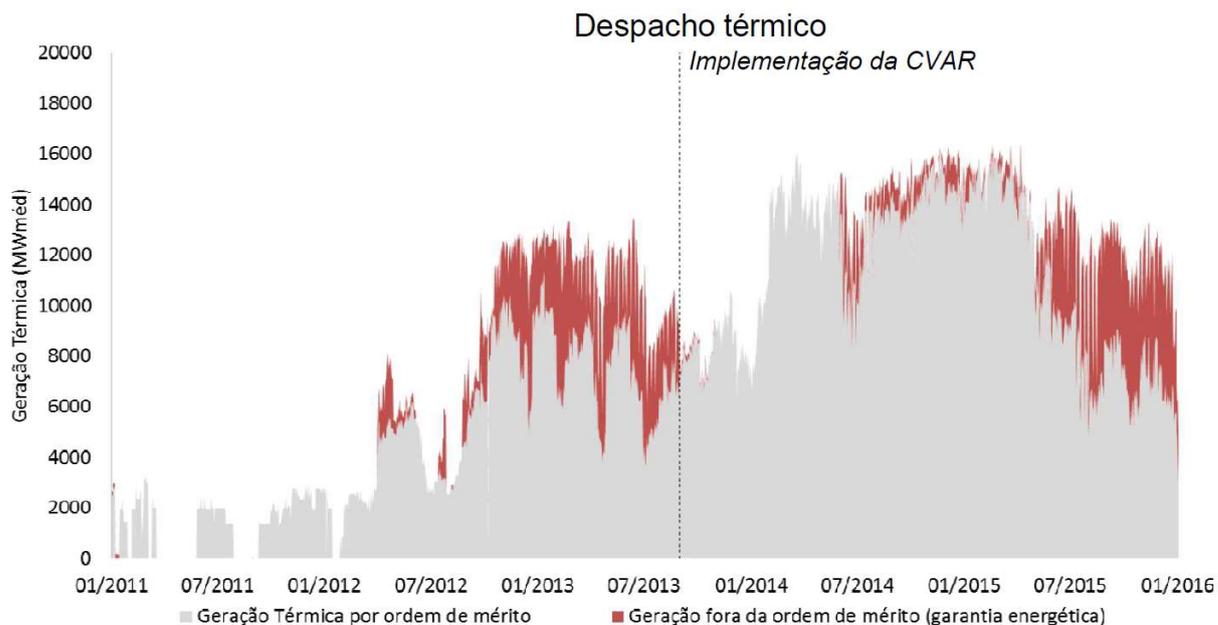


Figura 9 - Boletim Semanal da Operação (ONS)
Fonte: Instituto Acende Brasil

Esse descompasso entre modelos computacionais e operação também é verificado na figura 10, a metodologia empregada pelos modelos pressupõe que, quando o PLD iguala ou supera o Custo do Déficit (falta de energia), o consumo será reduzido. Observa-se, no entanto, que durante alguns momentos em 2014 e 2015 o Custo Marginal de Operação (CMO) foi superior ao Custo do Déficit, sem que houvesse notícia de racionamento, contrariando a lógica do modelo.

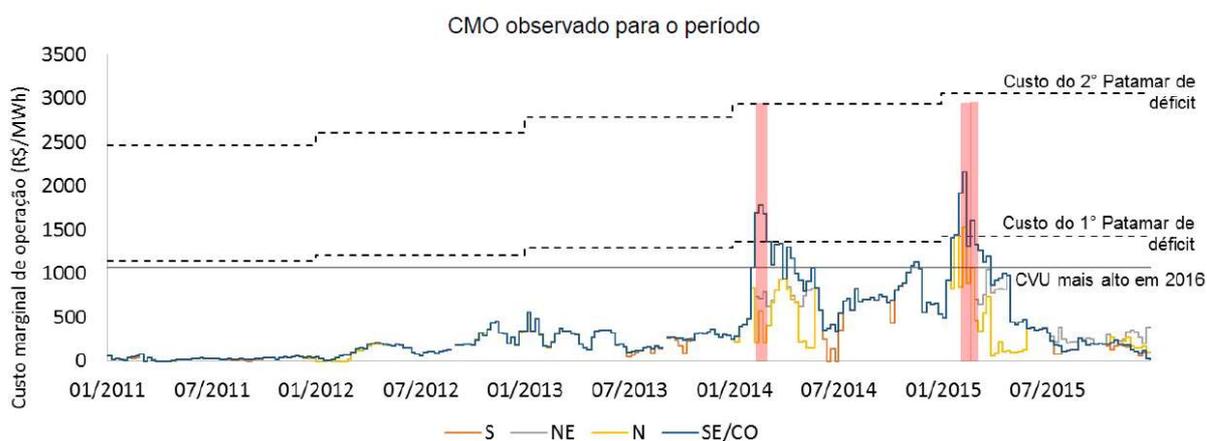


Figura 10 - Resultados Semanais dos Programas Mensais da Operação (ONS)
Fonte: Instituto Acende Brasil

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o conjunto de elementos necessários para a consolidação das *Microgrids* no Setor Elétrico Brasileiro (SEB).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar a bibliografia referente às *Smart Grids*.
- Revisar a bibliografia referente às *Microgrids*.
- Levantar dados dos projetos nacionais de apoio ao desenvolvimento da tecnologia.
- Levantar dados da tendência global de utilização dessas tecnologias.
- Levantar dados a respeito da consolidação da geração distribuída fotovoltaica.
- Levantar dados referentes aos sistemas de armazenamento de energia.

1.4 JUSTIFICATIVA

A Geração Distribuída fotovoltaica é uma tendência irreversível frente aos custos globais declinantes dessa tecnologia e o aumento nas tarifas de energia no mercado cativo brasileiro, além de se tratar de uma fonte de energia renovável. As *Smart Grids* proveem inteligência e agilidade ao sistema de energia elétrica da distribuidora e oferecem vantagens ao consumidor e a qualidade no fornecimento da rede de energia elétrica.

Mais recentemente, o país demonstrou interesse em estudar os Sistemas de Armazenamento de Energia através dos investimentos realizados pela ANEEL como indutora de pesquisa e desenvolvimento para o setor elétrico, podendo-se criar um contexto totalmente novo na forma de consumo de energia elétrica e consolidar a tecnologia fotovoltaica como um aliado que pode prover importantes serviços à qualidade e estabilidade da rede de energia elétrica do futuro.

Novos modelos de negócio podem surgir dessa realidade, impulsionando a economia do Brasil e do Paraná através da geração de empregos especializados em uma cadeia de valor ainda emergente no país. Em um momento econômico delicado pelo qual o país está passando, estudar as novas tecnologias e as formas de integração entre si amplia o benefício desses sistemas e fomenta a discussão em torno dos diferenciais necessários para garantir que o Estado do Paraná esteja à frente e alinhado com o que existe de mais moderno.

Empresas especializadas podem surgir nesse âmbito, em busca de consolidar seus negócios através da mão-de-obra qualificada que o Estado vier a possuir frente à inauguração de projetos piloto na área de Microgrids. Essa premissa fortalece a economia do Estado do Paraná via captação de impostos a serem reinseridos na sociedade paranaense e na geração de novas riquezas para o Estado, alívio do desemprego em diversas categorias profissionais entre elas a de técnicos e engenheiros.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento adotado foi a pesquisa documental, através de entrevistas e participação de workshop. A pesquisa documental foi realizada em livros estrangeiros, legislação vigente, dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE), dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) além de publicações internacionalmente reconhecidas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresentado nessa monografia tem a seguinte estrutura:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: Apresenta o tema da pesquisa, sua delimitação e define os problemas e premissas da pesquisa, bem como os objetivos gerais e específicos a serem atingidos. Trata também da justificativa de realização dessa pesquisa e a estrutura de adotada.

Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: Descreve brevemente a operação do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) enquanto matriz hidrotérmica além dos principais elementos inseridos no contexto de interface tecnológica de uma Microgrid.

Capítulo 3 – DESENVOLVIMENTO: Descreve o atual momento de desenvolvimento das tecnologias e a forma como as Microgrids podem fazer parte do futuro das redes de energia elétrica no Brasil integrando a energia solar fotovoltaica enquanto Geração Distribuída.

Capítulo 4 – CONCLUSÃO: Evidencia as principais formas de consolidação da geração distribuída fotovoltaica em um ambiente de Microgrids.

Capítulo 5 – REFERÊNCIAS: Esclarece a bibliografia consultada para análise dessa monografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apesar da participação de hidrelétricas em capacidade instalada ser de pouco mais de 60%, a participação desta fonte na produção de energia é bastante alta, podendo ser maior ou menor em função da disponibilidade do recurso hídrico ano a ano. Com tamanho e características que permitem considera-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas (TOLMASQUIM, 2016).

A figura 11, do relatório síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) da EPE de 2016 demonstra que 64% da energia elétrica foi gerada a partir de hidrelétricas e 34,4% de Termelétricas com diferentes combustíveis primários.

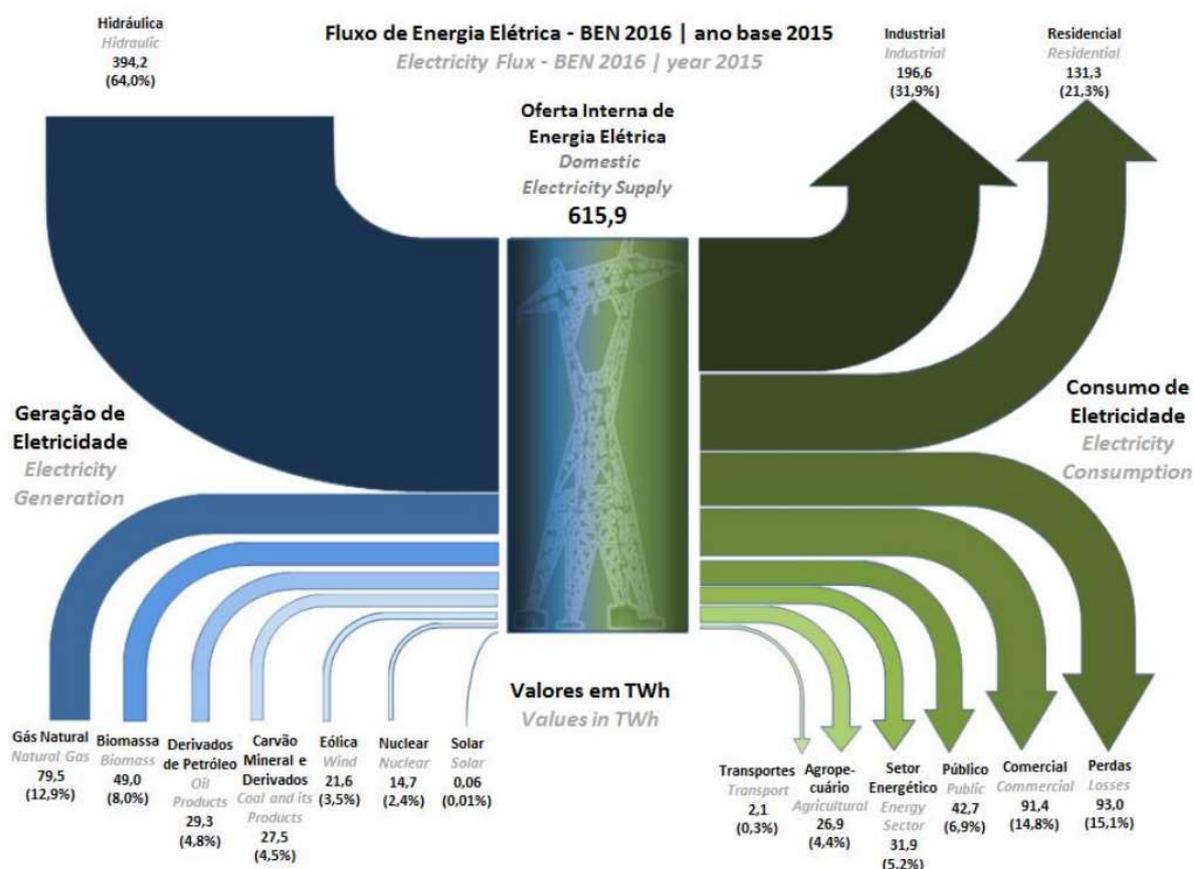


Figura 11 - Fluxo de Energia Elétrica - BEN 2016
 Fonte: EPE, 2016.

2.1 OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A operação de um sistema predominantemente hidroelétrico, com regularização plurianual, deve ser integrada, pois quando uma usina com reservatório regulariza uma bacia, os benefícios são incorporados não só à própria bacia, mas também a todas as usinas que estão conectadas hidráulicamente a ela, buscando-se a operação ótima do sistema (TOLMASQUIM, 2016).

Com a missão de operar tal sistema, em 1998 foi criada a figura do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que é a entidade responsável pelo despacho e coordenação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Uma das grandes missões do ONS é usualmente apresentada como o “dilema do operador”, representado na figura 12.

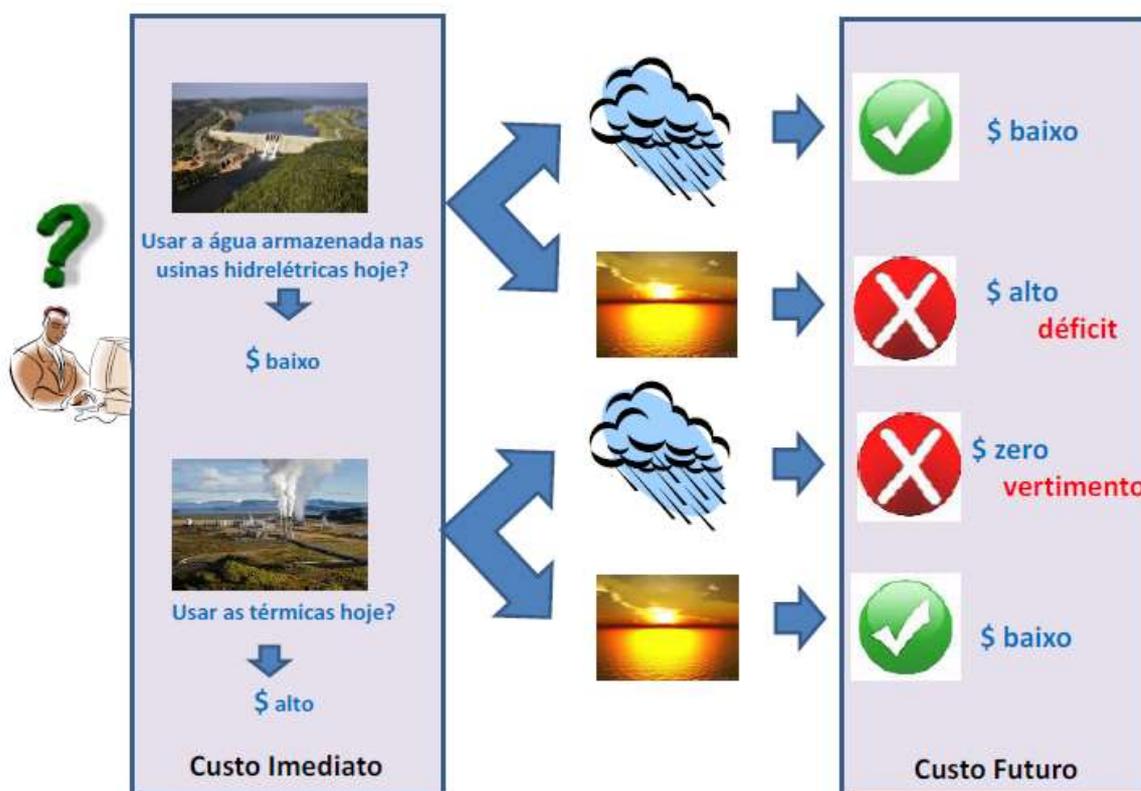


Figura 12 - Dilema do Operador Nacional do Sistema
Fonte: TOLMASQUIM, 2016

Esse dilema, como ilustrado na figura 13, representa a decisão de se utilizar o principal sistema de armazenamento de energia brasileiro, os reservatórios de água, ou realizar o despacho das usinas térmicas que é realizado por ordem de mérito, ou seja, as usinas mais baratas entram primeiras e depois as mais caras, implicando em um delicado balanço que afeta o Custo Marginal de Operação (CMO) do sistema.

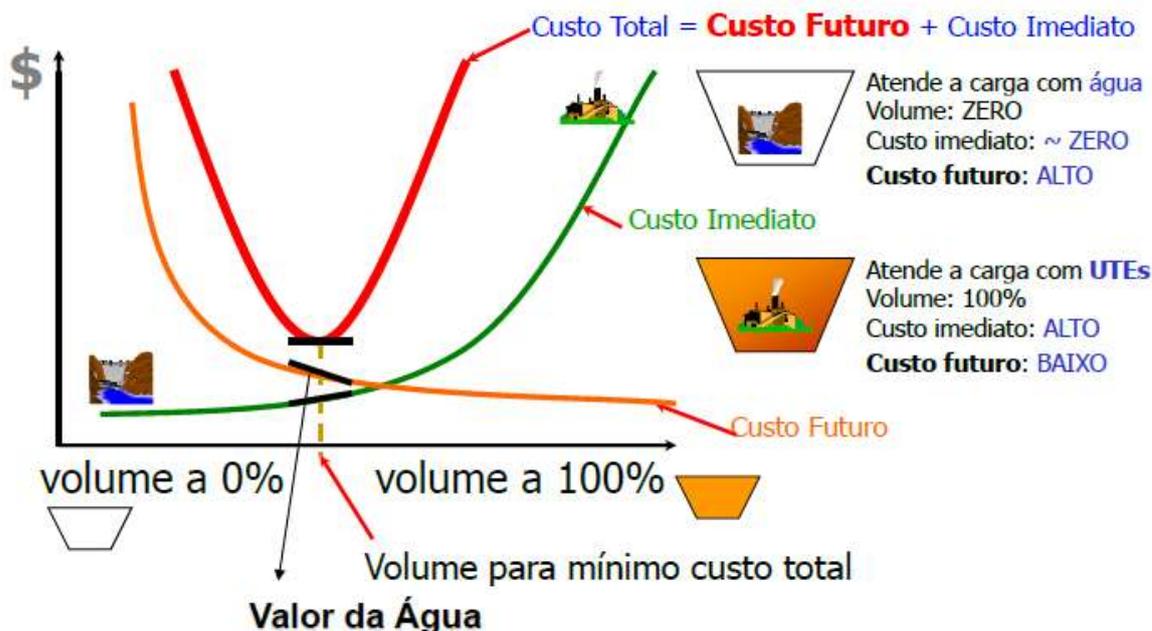


Figura 13 - Minimização do Custo de Operação
Fonte: ONS, 2006.

Com a inserção na matriz energética brasileira das fontes não controláveis, com diferentes perfis de geração, os reservatórios assumem importância cada vez maior. A relação entre a Capacidade de Armazenamento e o Mercado é, dessa forma, um parâmetro que auxilia na avaliação da segurança do sistema ao longo do horizonte de planejamento.

Apesar do aumento na capacidade instalada de usinas hidrelétricas nos próximos 10 anos, o acréscimo da capacidade de armazenamento é de apenas 2,6 GW médios neste mesmo período, o que corresponde a, aproximadamente, 1% do total existente em 2015 (TOLMASQUIM, 2016).

2.2 REDES INTELIGENTES

O conceito de *Smart Grid* foi usado pela primeira vez em 2005 em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado na revista IEEE P&E, com o título de “*Toward A Smart Grid*”. Existem várias definições para o conceito de redes inteligentes, mas todas convergem para o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam a energia. Esses elementos possibilitam o envio de uma gama de dados e informação para os centros de controle, onde eles são tratados, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

A rede inteligente, ou *Smart Grid*, é definida como qualquer combinação de tecnologias ativadoras, *hardware*, *software* ou práticas que coletivamente fazem a infraestrutura de entrega de energia ou a rede mais confiável, mais versátil, mais segura, mais resistente e ultimamente mais útil aos consumidores (FEREIDOOON, 2012).

As REI (Redes Elétricas Inteligentes) representam a evolução das redes elétricas atuais, no sentido de aumento da eficiência e da qualidade de fornecimento, da diminuição dos custos, bem como do respeito ao meio ambiente e da integração de recursos distribuídos, a figura 14 ilustra estados brasileiros que possuem projetos piloto de REI. Pela sua própria natureza, as REI podem ser compreendidas como a rede elétrica onde são empregadas tecnologias digitais para monitorar e controlar o transporte de eletricidade em tempo real, havendo fluxo bidirecional de energia e de informações entre a concessionária e o cliente final. Essas tecnologias são representadas por sistemas de medição, de automação e interação, com clientes, que de um lado oferecem funcionalidades que atendem os objetivos especificados e por outro, requerem infraestrutura adequada de telecomunicações e de tecnologia da informação. A implementação da rede inteligente possibilita a adoção de uma gama de novos serviços, abrindo a possibilidade de novos mercados e fortalecimento do relacionamento das distribuidoras de energia com seus clientes (DIÁLOGO SETORIAL BRASIL EUROPA, 2014).

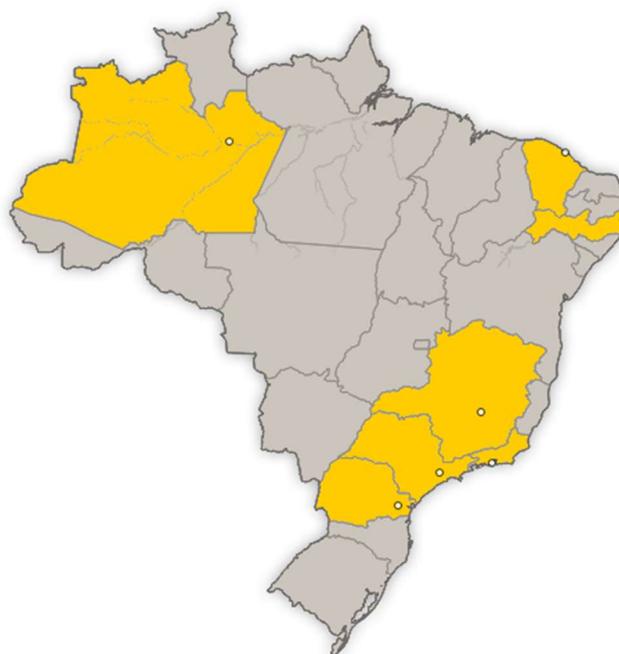


Figura 14 - Estados com Projetos Pilotos de REI
Fonte: Site Redes Inteligentes Brasil, 2017.

2.2.1 Medição Eletrônica

Ao se substituírem os medidores eletromecânicos por outros eletrônicos, uma grande massa de dados poderá ser alocada nos centros de controle das empresas, permitindo melhor planejamento e controle de toda a rede. Com esses medidores, vários serviços poderão ser ofertados ao consumidor, além de se mudar o conceito de utilização das cargas, que poderão ser controladas remotamente, tanto pelo usuário, quanto pela concessionária (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

Com a introdução desse tipo de medidor, o consumidor terá mais condições de gerenciar seu uso de energia. Vários aplicativos já estão em desenvolvimento para proporcionar o acesso aos dados de medição, auxiliando na tomada de decisão. Dados como consumo em tempo real, equipamentos que mais consomem energia, valor a pagar até o momento, projeção de fatura no final do ciclo são alguns exemplos de interação entre usuário e medidor. Outros serviços ainda podem ser agregados, como por exemplo, o controle de cargas pelo usuário ou pela concessionária. Antes mesmo de chegar à sua casa, o consumidor poderá programar qualquer equipamento conectado à rede elétrica. O preço da energia poderá variar ao longo dia, já que a medição eletrônica permite que vários postos tarifários sejam programados. Esse sinal

tarifário proporcionará uma redução do pico de demanda, gerando uma economia em investimentos de geração e expansão de rede (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

2.2.2 Comunicação

Uma das funcionalidades mais importantes dos medidores inteligentes é a capacidade de se comunicar com outros equipamentos instalados na rede ou mesmo dentro das unidades consumidoras. Essa inovação será a responsável por uma relevante mudança na prestação de serviços de energia. Para que o conceito de redes inteligentes seja totalmente viabilizado, é necessário que essa comunicação seja feita em duas direções – da concessionária para o cliente e vice-versa.

Funções como a suspensão e religação de fornecimento remotas, envio de informação sobre consumo em tempo real e postos tarifários vigentes dependem dessa comunicação bidirecional (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

2.2.3 Sensoriamento

A instalação de sensores ao longo de todo o sistema de distribuição de energia elétrica é outro passo para que a rede se torne realmente inteligente. A auto recuperação, uma das responsáveis pela diminuição de clientes atingidos por faltas de energia, é beneficiada com o sensoriamento da rede. Os sensores são responsáveis por enviar as informações para a central de controle da concessionária e prover dados para a tomada de decisão dos operadores da rede (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

2.2.4 Computação

O processamento dos dados recebidos por todos os equipamentos da rede irá aumentar substancialmente, por isso, torna-se necessário que os centros de controle das distribuidoras sejam capazes de transformá-los em informações úteis para os operadores (RELATÓRIO SMART GRID, 2010).

2.2.5 Tarifas Inteligentes

A tarifa branca é uma nova opção de tarifa que sinaliza aos consumidores a variação da energia conforme o dia e o horário de consumo. Ela será oferecida para as unidades consumidoras que são atendidas em baixa tensão (grupo B). A partir de 1º de Janeiro de 2018, todas as distribuidoras do país deverão atender aos pedidos de adesão à tarifa branca das novas ligações e dos consumidores com média mensal superior a 500 kWh. Em 2019, unidades com consumo médio superior a 250 kWh/mês e, em 2020, para consumidores de baixa tensão qualquer que seja o seu consumo. A tarifa branca cria condições que incentivam alguns consumidores a deslocarem o consumo dos períodos de ponta para aqueles em que a rede de distribuição de energia elétrica tem capacidade ociosa (ANEEL, 2016).

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída (GD) é um dos temas mais discutidos no âmbito do planejamento energético no mundo e é apontada como o futuro da produção de energia elétrica. Em países de mercados mais maduros, a geração distribuída é tida como alternativa à expansão de parques centralizados e de grande porte, os quais apresentam grandes impactos socioambientais (FGV ENERGIA, 2015).

No exercício das suas competências legais, a ANEEL promoveu a Consulta Pública nº 15/2010 (de 10/09 a 9/11/2010) e a Audiência Pública nº 42/2011 (de 11/08 a 14/10/2011), as quais foram instauradas com o objetivo de debater os dispositivos legais que tratam da conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição. Como resultado desse processo de consulta e participação pública na regulamentação do setor elétrico, a Resolução Normativa - REN nº 482, de 17/04/2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente (ANEEL, 2016).

O acompanhamento da implantação da REN nº 482/2012, realizado pela ANEEL nos últimos anos, permitiu identificar diversos pontos da regulamentação que necessitavam de aprimoramento. Dessa forma, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, compatibilizar o Sistema de

Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010), aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura, a ANEEL realizou a Audiência Pública nº 26/2015 (de 7/5/2015 a 22/6/2015) que culminou com a publicação da Resolução Normativa - REN nº 687/2015, a qual revisou a REN nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2016).

Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2016).

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2016).

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores podem fazer a solicitação e acompanhar o

andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet. Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses. Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora (ANEEL, 2016).

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída – a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2016).

Por fim, é importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente (ANEEL, 2016).

2.3.1 Solar Fotovoltaica

Após a publicação da REN 482/2012, iniciou-se no país um lento processo de difusão de micro e minigeradores distribuídos, o qual começou a acelerar a partir de 2016, conforme ilustra a figura 15 (ANEEL, 2017).

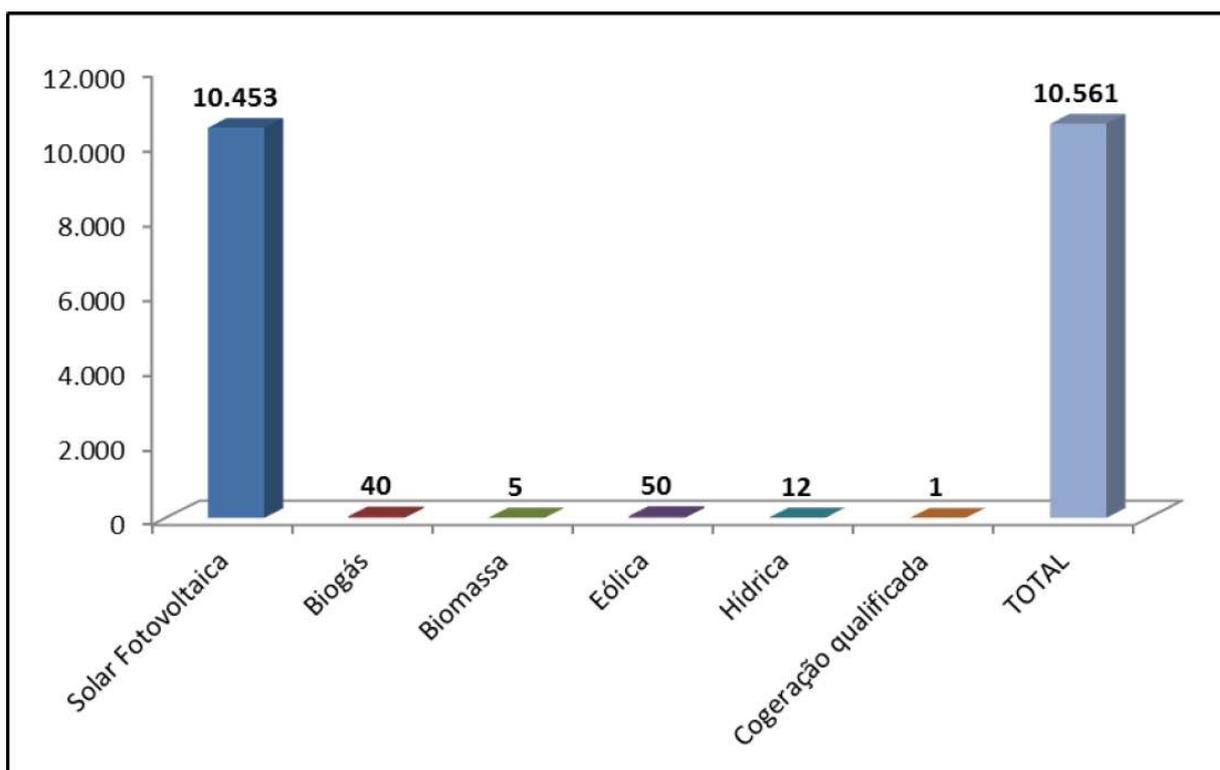


Figura 15 - Número de Conexões por Tipo de Fonte até Maio/17
Fonte: ANEEL, 2017.

Paridade tarifária é um importante fator para difusão da geração fotovoltaica, um modelo de paridade tarifária baseado no custo nivelado de energia demonstra que o alto crescimento da indústria fotovoltaica ativa uma alta redução desse mesmo custo nivelado colocando a energia fotovoltaica no caminho para se tornar uma tecnologia de geração de energia altamente competitiva (BREYER e GERLACH, 2013).

A figura 16 mostra que nas Américas, entre 2016 e 2020 o mercado residencial deve atingir a paridade tarifária em sua quase totalidade (EPE, 2014).

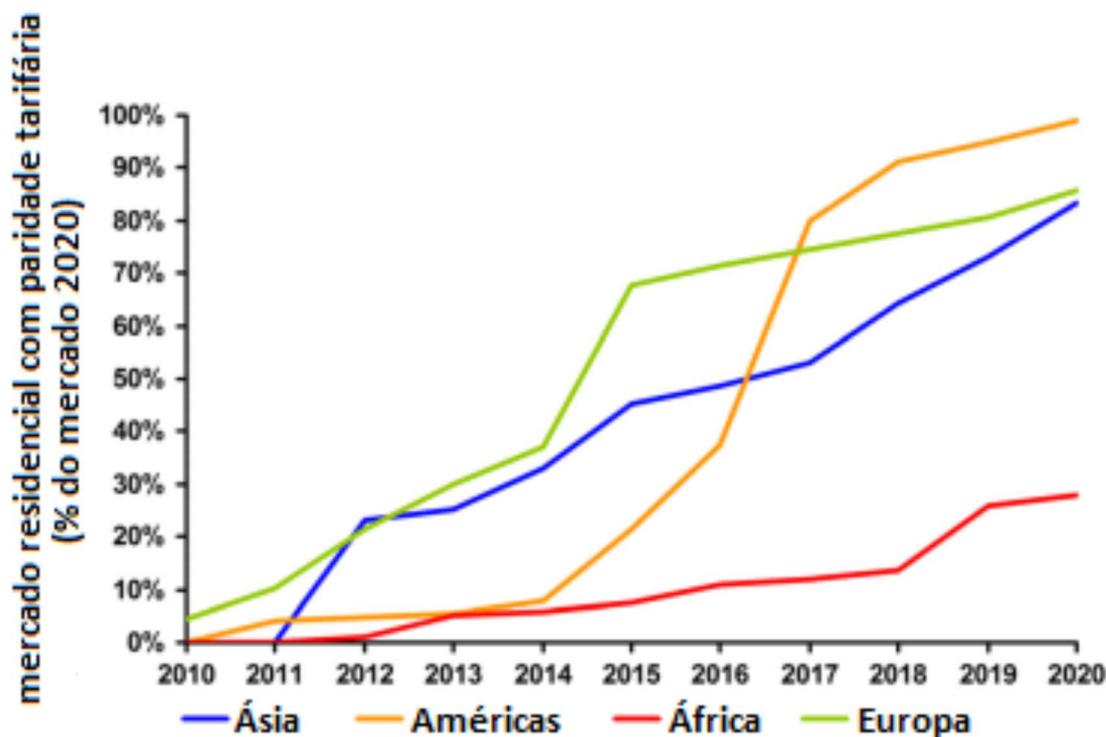


Figura 16 - Paridade Tarifária no Mundo
Fonte: EPE, 2014.

O Brasil possui um potencial técnico de geração distribuída a partir da energia fotovoltaica no setor residencial no Brasil bastante alto. A metodologia de projeção do mercado potencial, considerando aspectos econômicos e mercadológicos pode ser observada na figura 17 (EPE, 2014).

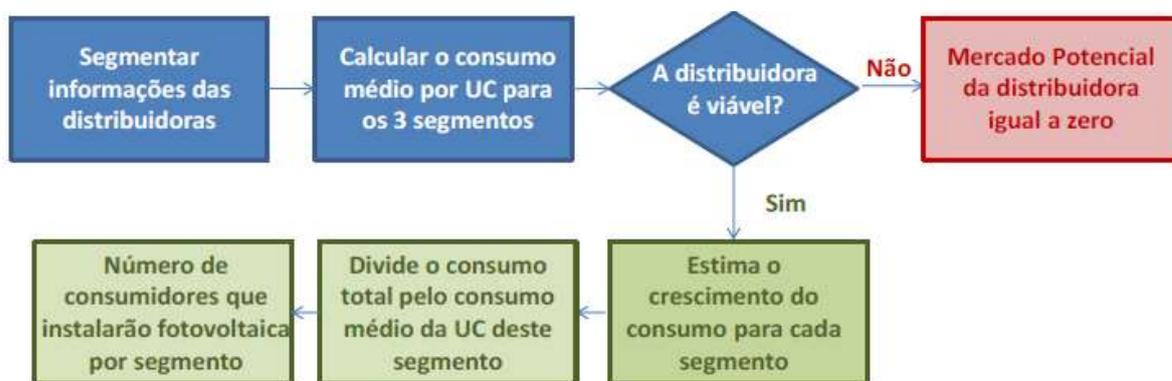


Figura 17 - Metodologia de Projeção do Mercado Potencial Fotovoltaico
Fonte: EPE, Nota Técnica DEA 19/14.

Na figura 18 é apresentada a evolução do mercado de sistemas fotovoltaicos no Brasil até 2023. A barra azul apresenta o número de unidades consumidoras

potenciais, isto é, residências com consumo superior a 400 kWh/mês e comércios (sem restrição à nível de consumo). A barra amarela representa como o mercado vai se tornando economicamente viável ao longo dos anos, atingindo viabilidade para mais de 80% dos consumidores potenciais em 2023. Em verde é mostrado o número de consumidores que terão instalados sistemas fotovoltaicos ao longo do horizonte decenal (forma de barra) e o percentual em relação ao potencial, em linha (EPE, 2014).

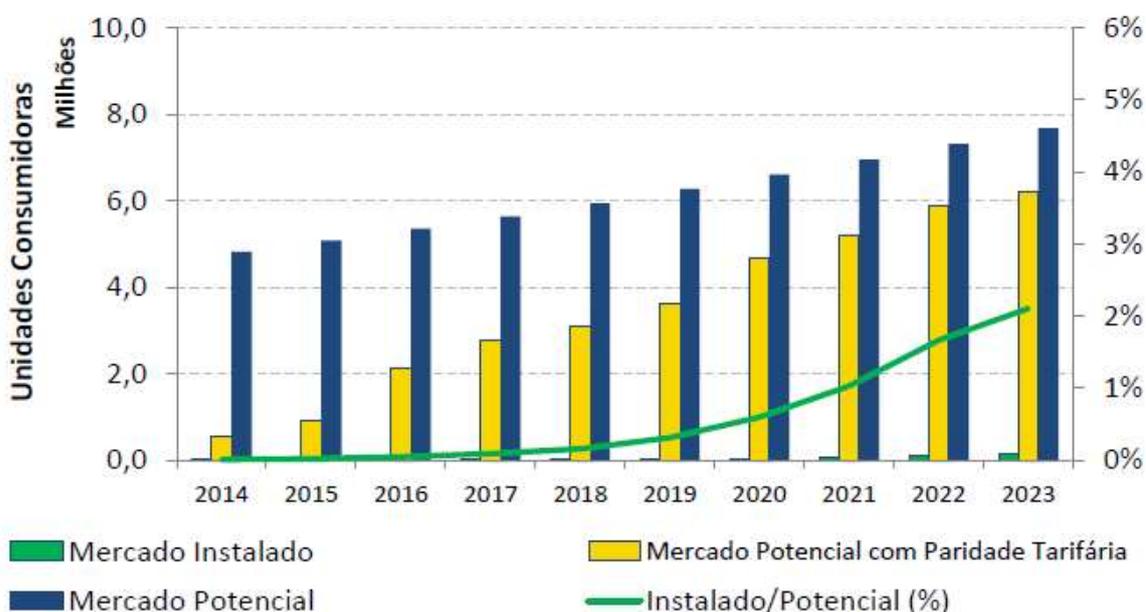


Figura 18 - Evolução do Mercado de Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos no Brasil
Fonte: EPE, Nota Técnica DEA 19/14.

A tabela 1 apresenta a previsão do número de consumidores que instalarão painéis fotovoltaicos de acordo com a análise. No fim do horizonte decenal, estima-se que o país terá instalado aproximadamente 161 mil sistemas (EPE, 2014).

Segmento	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Residencia	165	339	677	1.35	2.97	9.609	24.53	54.03	102.38	140.01
I				5	2		9	6	7	1
Comercial	216	616	1.67	3.73	6.40	9.912	14.93	17.26	19.238	21.349
			6	5	7		6	8		
Total	381	955	2.35	5.09	9.37	19.52	39.47	71.30	121.62	161.36
			3	0	9	1	5	4	4	0

Tabela 1 - Cenário do Número Acumulado de UCs com Sistemas Fotovoltaicos
Fonte: EPE, Nota Técnica DEA 19/14.

Com o número de consumidores e as respectivas potências, foi calculada a projeção da capacidade instalada até o horizonte 2023, conforme figura 19. Foram ainda adicionados projetos que constam no P&D (Nº 013/2011) da ANEEL, criado para incentivar a inserção da energia solar na matriz energética brasileira, com a previsão da inserção de 25 MWp até 2015 (EPE, 2014).

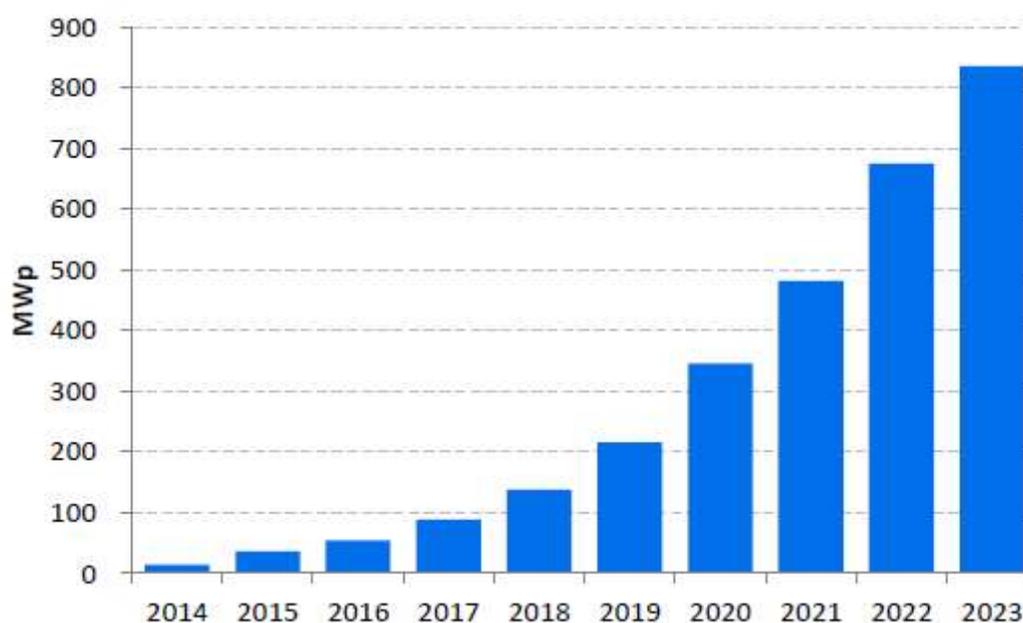


Figura 19 - Evolução da Capacidade Instalada Acumulada de GD Fotovoltaica.
Fonte: EPE, Nota Técnica DEA 19/14.

Em recente atualização, conforme a figura 20, a ANEEL emitiu a Nota Técnica Nº 056/2017: atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024.

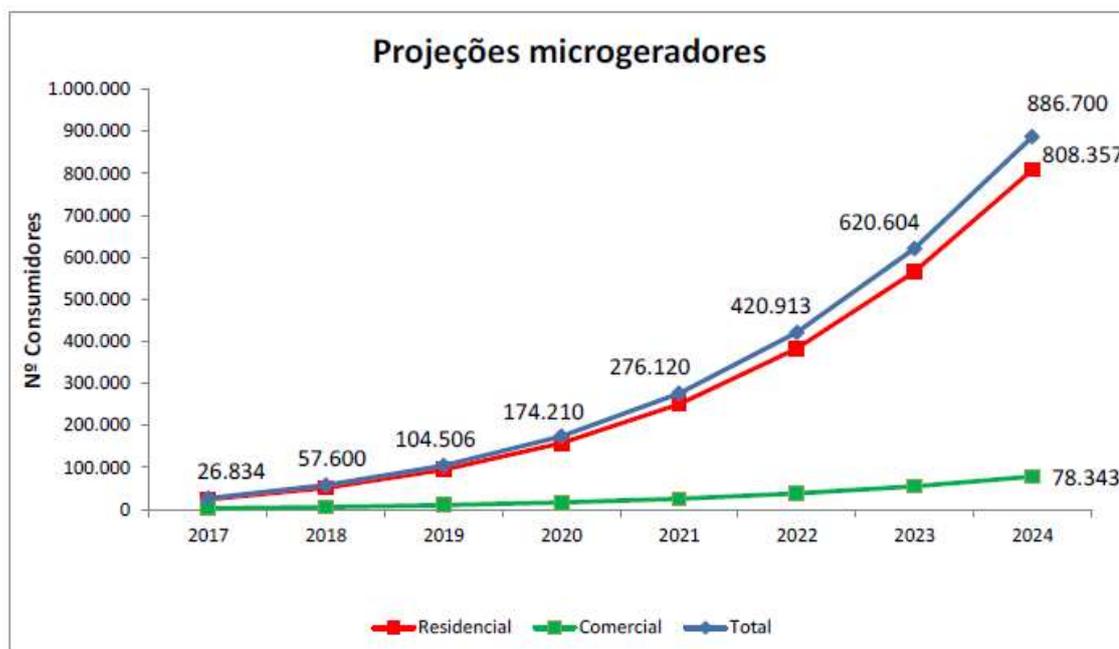


Figura 20 - Projeção de UCs com Microgeração Distribuída Fotovoltaica
Fonte: ANEEL, Nota Técnica 056/2017.

A nova previsão com horizonte 2017-2024 pode ser revista na tabela 2.

Segmento	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Residencial	23.794	51.683	94.310	157.776	250.758	383.010	565.448	808.357
Comercial	3040	5.917	10.196	16.434	25.362	37.903	55.156	78.343
Total	26.834	57.600	104.506	174.210	276.120	420.913	620.604	886.700

Tabela 2 – Novo Cenário do Número Acumulado de UCs com Sistemas Fotovoltaicos
Fonte: ANEEL, Nota Técnica 056/2017.

Também atualizada a previsão de capacidade instalada no horizonte 2017-2024, na figura 21, com evolução significativa frente às projeções da EPE.

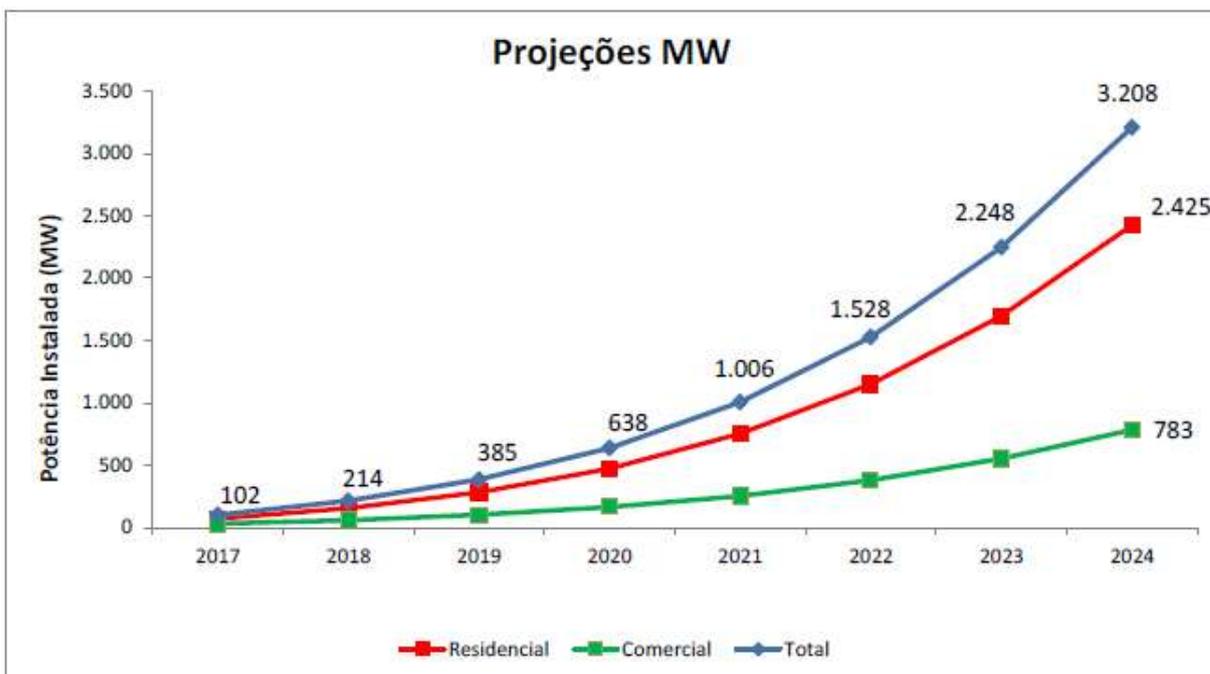


Figura 21 - Evolução da Capacidade Instalada Acumulada de GD Fotovoltaica
Fonte: ANEEL, Nota Técnica 056/2017.

2.4 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

A aplicação de SAE (Sistema de Armazenamento de Energia) é uma tendência mundial, por proporcionar benefícios em toda a cadeia de valor dos sistemas de energia, desde a geração até o usuário final. Instalações de SAE são consideradas essenciais para a integração de sistemas de geração de energia renovável em larga escala e, também, para proporcionar flexibilidade às redes elétricas inteligentes (ABAQUE, 2016).

A primeira usina hidrelétrica reversível do mundo foi construída no Brasil, no estado de São Paulo, e é operada pela EMAE - Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. A Usina Elevatória de Pedreira foi inaugurada em 1939, com a operação da unidade 4 (primeira unidade reversível em operação comercial no mundo) e possibilidade de funcionamento tanto como geradora de energia, quanto como bomba (TOLMASQUIM, 2016).

Estima-se que até 2023, o mercado brasileiro demande aproximadamente 95 GWh em SAE. Este montante equivale a cerca de 50% de toda a capacidade instalada em SAE no mundo ao final do ano de 2015 (ABAQUE, 2016).

As estimativas de mercado para a introdução das tecnologias de armazenamento devem considerar as seguintes aplicações:

- Onde as tecnologias atuais de produção distribuída de energia possam ser substituídas com vantagem pelo armazenamento de energia. Neste item enquadra-se a geração por grupos motor-geradores, tanto em aplicações para garantir confiabilidade (suprir eventuais falhas da rede elétrica) quanto em aplicações com o propósito de reduzir o custo da energia no horário de ponta;
- Onde as tecnologias de armazenamento de energia sejam naturalmente requeridas, como sistemas isolados (*microgrids*) e geração intermitente, entre outros;
- Onde a utilização de tecnologias de armazenamento de energia possa resultar em maior eficiência na operação da rede elétrica, ganhos operativos, redução de custos relacionados a perdas técnicas e otimização do despacho, entre outros benefícios.

Adotando-se estas premissas, pode-se projetar a aplicação de sistemas de armazenamento de energia, conforme cálculos e estimativas indicadas nos itens seguintes deste capítulo. Considerando-se todas estas aplicações, estima-se em 95 mil MWh a demanda potencial por sistemas de armazenamento de energia no mercado brasileiro, conforme figura 22 (ABAQUE, 2016)

APLICAÇÃO	CAPACIDADE
1 - Redução de ponta de carga (arbitragem) e confiabilidade:	66.700 MW.h
2 - Confiabilidade em Hospitais e Centros Cirúrgicos:	3.200 MW.h
3 - Suprimento Contínuo em Sistema Isolados:	4.600 MW.h
4 - Integração de Plantas de Geração Intermitente:	5.000 MW.h
5 - Suporte à integração da Geração Distribuída	12.000 MW.h
6 - Atendimento à frota de Veículos Elétricos novos	3.500 MW.h
Total:	95.000 MW.h

Figura 22 - Demanda Potencial por SAE no Mercado Brasileiro
Fonte: ABAQUE, 2016.

Como regra, e excetuando o armazenamento elétrico (quando a energia elétrica é armazenada diretamente em um campo elétrico ou magnético), estas tecnologias convertem a energia elétrica em outra forma de energia armazenável, durante o processo de carga, como química, mecânica ou térmica como ilustrado na figura 23. Durante o processo de descarga, a energia armazenada é novamente transformada em energia elétrica (ABAQUE, 2016).

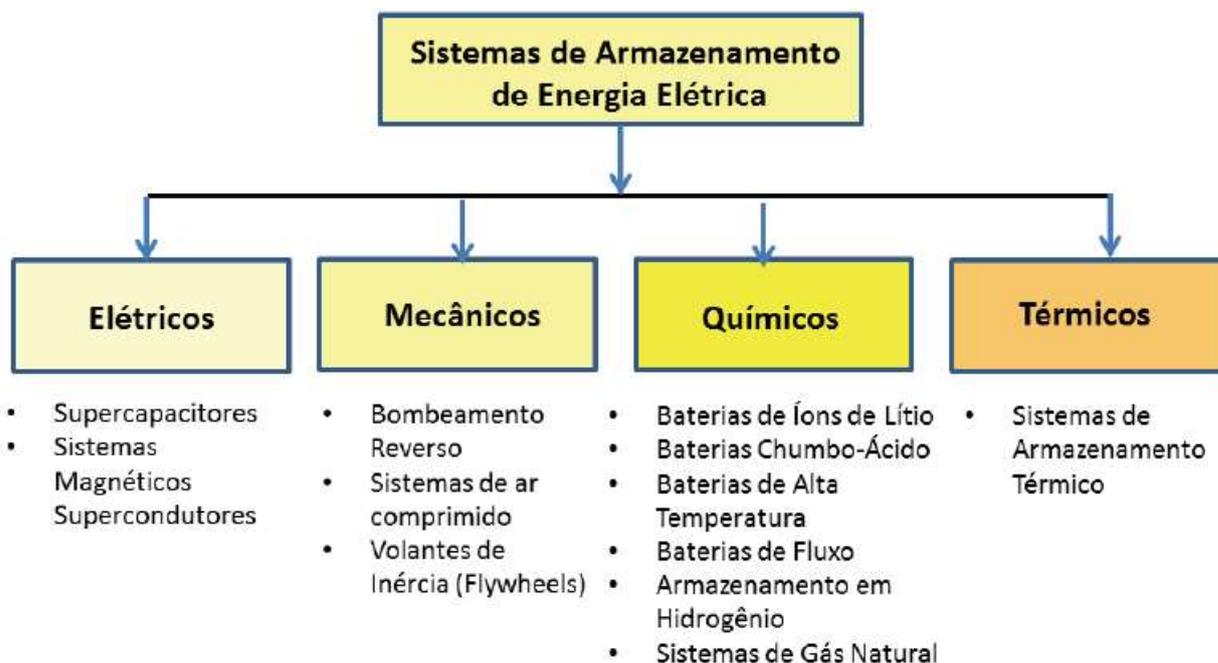


Figura 23 - Tecnologias de Armazenamento de Energia
Fonte: ABAQUE, 2016

2.4.1 Armazenamento em Reservatórios

Nos cenários em que a afluência às UHE é reduzida, ou a geração de outras fontes não controláveis, como eólicas, PCH, biomassas e solares, ocorre abaixo da expectativa, a geração a partir de fontes controláveis, predominantemente UHE com reservatórios de regularização, é requisitada. Neste momento, deve-se tomar a decisão entre utilizar a energia armazenada nos reservatórios ou as termelétricas, de custo mais elevado. Tal decisão impactará no custo e segurança, tanto imediato quanto futuro, do atendimento à demanda (TOLMASQUIM, 2016).

Conforme apresentado no relatório do PDE 2024, a figura 24 compara o crescimento da energia armazenável máxima do SIN e o crescimento do mercado de energia. A maioria das usinas viabilizadas recentemente é enquadrada na categoria “fio d’água”, ou seja, com reservatórios capazes de armazenar água por apenas algumas horas ou dias, assim, parte dos incrementos de energia armazenável ocorre pelo fato dessas usinas a fio d’água agregarem produtividade à cascata onde se situam, quando possuem reservatórios de regularização à montante. Entretanto, a maioria das usinas viáveis no horizonte decenal está localizada em bacias inexploradas, para as quais não há previsão de instalação de usinas com reservatórios de regularização nesse período e, portanto, ainda não contribuirão com o incremento de energia armazenável (TOLMASQUIM, 2016).

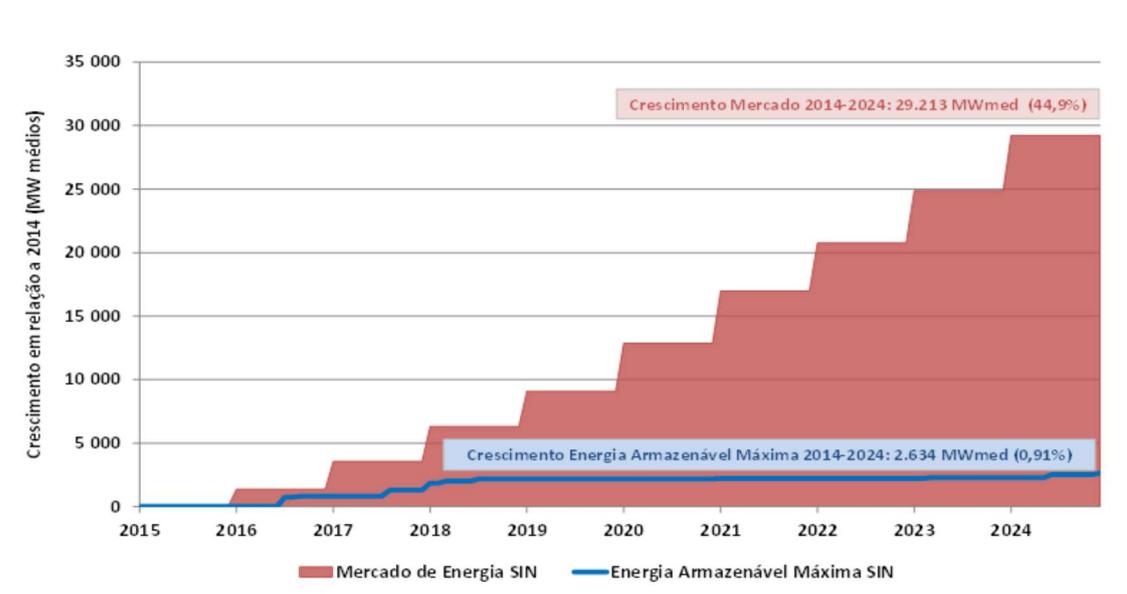


Figura 24 - Crescimento do Mercado de Energia do SIN x Energia Armazenável Máxima
Fonte: EPE, 2017.

2.4.2 Armazenamento em Baterias

Sistemas de Armazenamento de Energia na forma de Energia Química – uma reação eletroquímica reversível, onde há a movimentação de cargas elétricas através de um eletrólito – são conhecidos e utilizados desde os primeiros estudos envolvendo energia elétrica, a figura 25 ilustra exemplos desse tipo de armazenamento. Os esforços atuais são no sentido de construir baterias com maior densidade de armazenamento, menores perdas no processo de carga/descarga, menores taxas de auto descarga, elevado número de ciclos de carga/descarga, além de promover o desenvolvimento de materiais não tóxicos, que facilitem o processo de descarte e/ou reciclagem e, ainda, minimizem eventuais riscos ambientais (ABAQUE, 2016).

Os SAE com baterias são objeto de muitas pesquisas e investimentos em desenvolvimento, pois podem oferecer soluções de armazenamento confiáveis, seguras e operacionalmente simples. Nos sistemas de grande porte, as questões indicadas acima e, sobretudo a eficiência, tornam-se importantes. Os sistemas químicos de armazenamento de energia podem ser classificados como sistemas de armazenamento Interno ou Externo (ABAQUE, 2016).

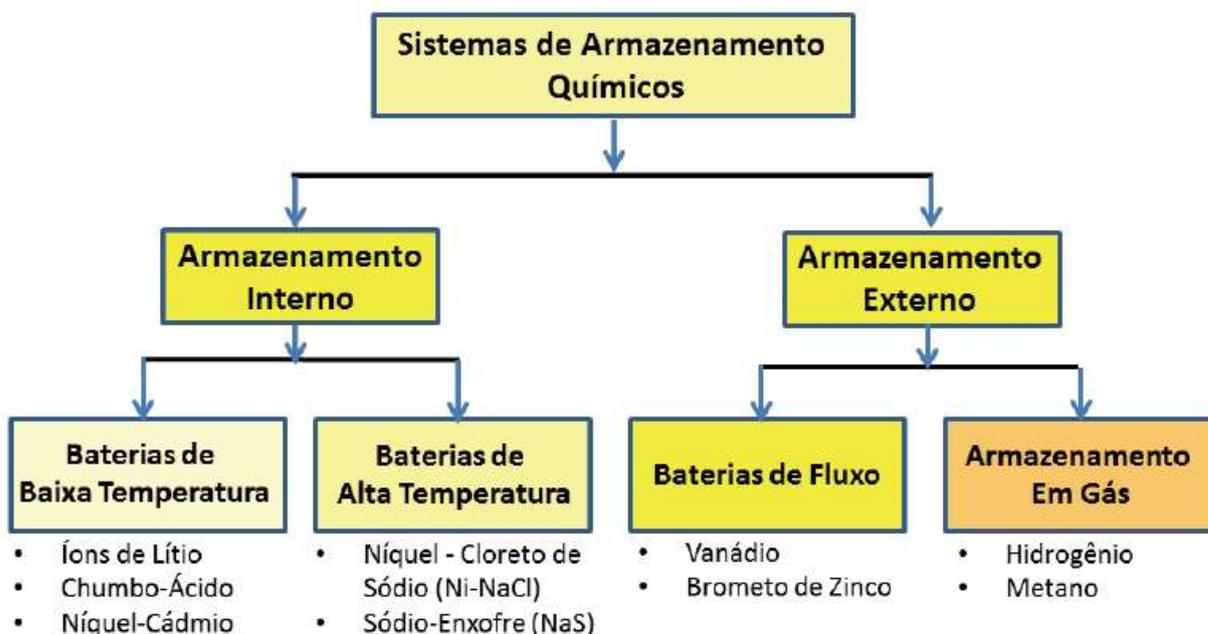


Figura 25 - Sistemas Químicos de Armazenamento de Energia
 Fonte: ABAQUE, 2016

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 MICROGRID

A sociedade moderna depende criticamente de um suprimento seguro de energia. Preocupações crescentes da disponibilidade de energia primária e envelhecimento da infraestrutura das atuais redes de transmissão e distribuição estão constantemente desafiando a segurança, confiabilidade e qualidade do fornecimento de potência. Uma quantidade significativa de investimento será necessária para desenvolver e renovar essas infraestruturas, enquanto a maneira mais efetiva de atender as demandas da sociedade é a incorporação de soluções inovadoras, tecnologias e arquiteturas de rede. De acordo com a IEA, os investimentos globais no setor de energia no período de 2003 – 2030 estão estimados em 16 trilhões de dólares (HATZIARGYRIOU, 2014).

A noção de Redes Inteligentes refere-se à evolução das redes de eletricidade. De acordo com a plataforma de tecnologia europeia em *Smart Grid*, uma rede inteligente é uma rede de energia elétrica que pode de forma inteligente integrar as ações de todos os usuários conectados a seus geradores, consumidores e aqueles que assumem ambos os papéis, de forma a eficientemente entregar suprimento de energia sustentável, seguro e econômico. Uma rede inteligente emprega produtos e serviços inovadores juntamente com tecnologias inteligentes em monitoramento, controle, comunicação e auto recuperação. De maneira resumida, as redes de distribuição de energia estão se transformando de passivas para ativas, a realização de redes ativas de distribuição de energia requer a implementação de novos sistemas, as *Microgrids* (HATZIARGYRIOU, 2014).

As *Microgrids*, também caracterizadas como os “blocos construtivos das redes inteligentes”, são talvez a mais promissora infraestrutura de rede. A organização de *Microgrids* é baseada nas capacidades de controle na operação da rede oferecida pela crescente penetração de geração distribuída incluindo micro e minigeração distribuídas tais como solar fotovoltaica juntamente com dispositivos de armazenamento como baterias e veículos elétricos no nível da distribuição (HATZIARGYRIOU, 2014).

Da perspectiva do consumidor, as *Microgrids* atendem a demanda por energia elétrica e, em adição, melhoram a confiabilidade local, reduzem emissões, melhoram a qualidade da potência suportando variações em tensão e frequência na rede além de potencialmente reduzirem os custos de fornecimento de energia. A expansão e manutenção do SIN (Sistema Interligado Nacional) é cada vez mais onerosa ao consumidor, pois os atuais potenciais hidrelétricos se encontram em locais distantes e que exigem altos custos para sua construção, uma solução para esse problema é expandir o papel das *Microgrids* que interagiriam com o SIN, podendo operar independentemente dele em caso de desligamento ou outros distúrbios.

Da perspectiva do operador da rede de energia, uma *microgrid* pode ser operada como uma carga ou gerador único agregado e, dependendo da atratividade de remuneração, também ser uma pequena fonte de potência ou serviços ancilares suportando a rede. Portanto, uma *microgrid* é essencialmente um conceito de agregação com participação de ambos os recursos do lado da demanda e fornecimento em redes de distribuição (HATZIARGYRIOU, 2014).

Da perspectiva de utilidades, a aplicação de *Microgrids* pode potencialmente reduzir a demanda por instalações de distribuição e transmissão de energia. Claramente, geração distribuída perto das cargas pode reduzir o fluxo de potência nos circuitos de transmissão e distribuição com dois efeitos importantes: redução de perdas e potencial redução de ativos de rede. Ainda, a presença de geração de energia perto da demanda pode aumentar a qualidade dos serviços vistos pelos consumidores. *Microgrids* podem fornecer suporte à rede em tempos de stress aliviando a congestão e suportando a restauração da rede após falhas (HATZIARGYRIOU, 2014).

Visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, a ANEEL exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade e, para tal, edita limites para os indicadores coletivos de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) conforme ilustra a figura 26 (ANEEL, 2017).

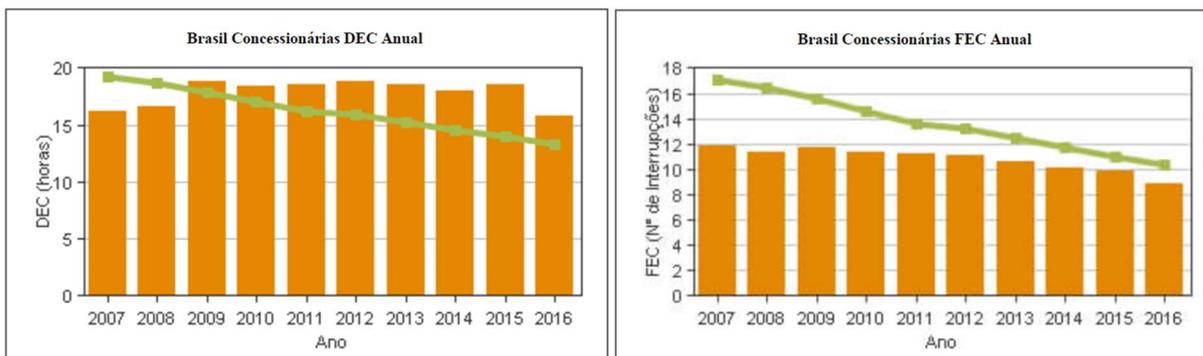


Figura 26 - Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)

Fonte: ANEEL, 2017.

Durante as últimas décadas, a geração distribuída tem crescido firme, com tal crescimento a rede de baixa tensão de distribuição de energia não pode mais ser considerada como um elemento passivo a rede de transmissão. Portanto, uma arquitetura de gestão e controle é necessária para facilitar plena integração de micro e minigeração distribuída e gestão ativa das cargas do sistema. Uma forma promissora para concretizar esse potencial emergente de micro e minigeração distribuída é ter uma visão sistemática que perceba a geração e cargas associadas como um subsistema ou uma microgrid (HATZIARGYRIOU, 2014).

3.1.1 O Que é uma *Microgrid*

Para o escopo dessa monografia, será utilizado o conceito dos projetos de pesquisa da União Europeia: *Microgrids* compõe-se de sistemas de distribuição de baixa tensão com recursos de geradores distribuídos juntamente com dispositivos de armazenamento de energia e cargas flexíveis, conforme ilustra a figura 27. Tais sistemas podem ser operados de uma forma não autônoma, se desconectados da rede principal de energia. A operação de micro e minigeração distribuída na rede de energia podem prover benefícios distintos para o desempenho geral do sistema, se gerenciados e coordenados eficientemente.

Existem três grandes mensagens entregues a partir dessa definição:

1. *Microgrid* é uma plataforma de integração pelo lado do fornecimento (micro e minigeração distribuída), unidades de armazenamento e recursos da demanda (cargas controláveis) localizada em uma rede de distribuição de energia local.

- No conceito de *microgrid*, existe um foco principal no fornecimento de energia para cargas próximas, portanto modelos agregadores que não levam em consideração a localização física dos geradores e das cargas (tais como plantas de energia virtuais com arranjo inter-regional) não são *Microgrids*.
 - Uma *microgrid* está tipicamente localizada no lado de baixa tensão com capacidade total de micro e minigeração abaixo dos MW, entretanto pode haver exceções: partes da rede de média tensão podem pertencer a uma *microgrid* para propósitos de interconexão.
2. Uma *microgrid* deve ter a capacidade de lidar com a rede em estado normal (*grid-connected* – conectada à rede) ou operação de emergência (*islanded* – ilhada).
- A maioria das futuras *Microgrids* será operada a maior parte do tempo com conexão à rede – exceção daquelas construídas em ilhas físicas – portanto, os principais benefícios das *Microgrids* virão da conexão com a rede.
 - Para poderem atingir longa operação em modo ilhada, uma *microgrid* tem de satisfazer altos requisitos de capacidade de armazenamento e taxa de disponibilidade dos micro e minigeradores para contínuo suprimento de todas as cargas ou terá que contar com significativa flexibilidade no lado da demanda. Neste último caso, os benefícios da confiabilidade podem ser quantificados de ilhamento parcial de cargas importantes.
3. A diferença entre uma *microgrid* e uma rede passiva penetrada por micro e minigeração distribuída permanece principalmente em termos de gerenciamento e coordenação dos recursos disponíveis.
- Um operador de *Microgrid* é mais do que um agregador de pequenos geradores, ou um provedor de serviços para a rede, ou um controlador de carga, ou um regulador de emissões – ele performa todas essas funcionalidades e serve múltiplos objetivos desde econômicos, técnicos e ambientais.
 - Uma grande vantagem do conceito de *Microgrids* acima de outras soluções “*smart*” mora em sua capacidade de lidar com conflitos de

interesse de diferentes *stakeholders*, de forma a otimizar as decisões de operação para todos os envolvidos.

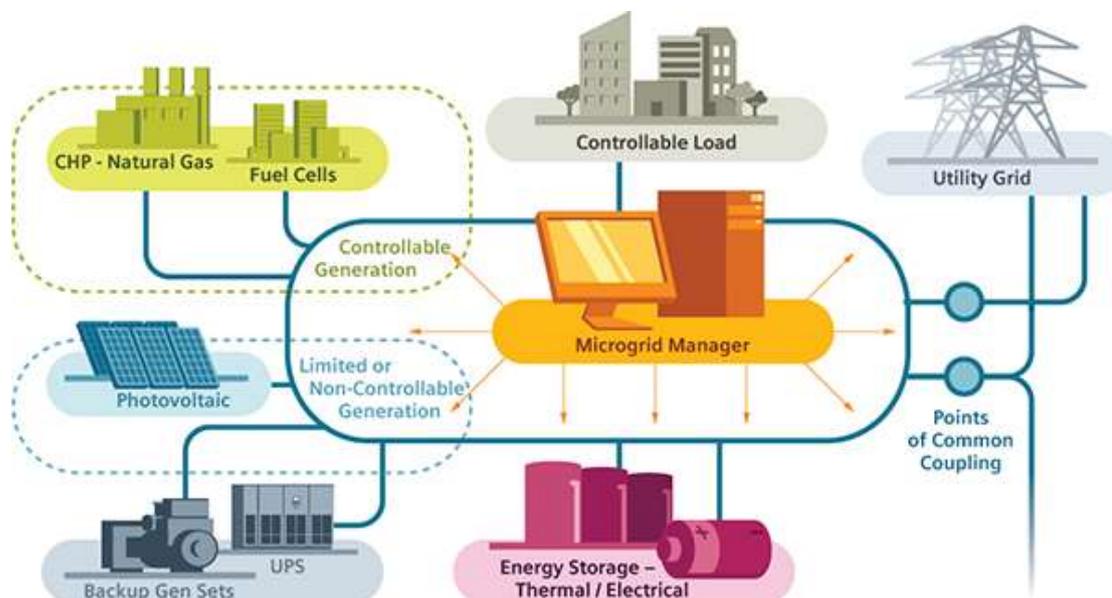


Figura 27 - Arquitetura de Microgrid
Fonte: Siemens, 2017

3.1.2 *Microgrids* Versus Plantas de Energia Virtuais

Uma *Virtual Power Plant* (VPP), ou planta de energia virtual, é um aglomerado de geradores distribuídos que é coletivamente operado por uma entidade de controle central. Uma VPP pode substituir um gerador de energia convencional, enquanto provê maior eficiência e mais flexibilidade. Entretanto por mais que a *Microgrid* e a VPP pareçam ser conceitos semelhantes, existe um número de diferenças distintas:

- **Localidade:** Em uma *Microgrid*, a GD está localizada em uma mesma rede de distribuição local e eles objetivam satisfazer primeiramente a demanda local. Em uma VPP, a GD não está necessariamente localizada na mesma rede de distribuição local e ela é coordenada através de uma área geográfica ampla. A produção agregada da VPP participa em negociações tradicionais em mercados normais de energia.

- Tamanho: A capacidade instalada de uma *Microgrid* é tipicamente relativamente baixa (de alguns kW a vários MW), enquanto que nas VPP's a capacidade de potência pode ser muito maior.
- Interesse do consumidor: Uma *Microgrid* é focada na satisfação do consumo local, enquanto uma VPP lida com o consumo apenas como um recurso flexível que participa na troca agregada de potência com remuneração via programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD).

Seguindo da definição de uma VPP como entidade comercial que agrega diferentes tipos de geração, armazenamento ou cargas flexíveis, independentemente da sua localização a VPP técnica é proposta, o que também leva em consideração as particularidades da rede local. De qualquer forma, as VPP, como geradoras virtuais, tendem a ignorar o consumo local, exceto para GLD, enquanto que as *Microgrids* reconhecem o consumo de energia local e dão ao cliente final a escolha de absorver energia da geração local ou da rede de energia. Isso leva a um melhor controle das *Microgrids* (HATZIARGYRIOU, 2014).

3.2 INTEGRANDO A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Os geradores distribuídos estão conectados tipicamente nas redes de distribuição, principalmente na média tensão (MT) ou alta tensão (AT), e foram desenhados sob o paradigma que as cargas do consumidor são passivas e que o fluxo de potência é unidirecional das subestações para os consumidores. Por essa razão, muitos estudos a respeito de interconexão de geração distribuída nas redes de distribuição foram realizados avaliando desde proteção e controle a estabilidade de tensão e qualidade de potência (HATZIARGYRIOU, 2014).

Diferentes tecnologias de micro geração, como microturbinas, fotovoltaica, células a combustível e turbinas eólicas com uma potência variando até 100 kW podem ser conectadas diretamente a rede de baixa tensão (BT). Essas unidades, tipicamente localizadas nas dependências do usuário, estão emergindo como uma promissora opção para atender as necessidades crescentes dos consumidores por energia com ênfase em confiabilidade e qualidade de energia, provendo diferentes benefícios econômicos, técnicos e ambientais. Claramente, uma mudança na filosofia

de interconexão é necessária para se atingir ótima integração de tais unidades (HATZIARGYRIOU, 2014).

Mais importante, há de ser reconhecido que com o crescente nível de penetração de microgeração, a rede de distribuição de baixa tensão não pode mais ser considerada como um apêndice passivo para a rede de transmissão. Pelo contrário, o impacto da microgeração no balanço energético e frequência da rede pode se tornar muito mais relevante ao longo dos anos. Por isso, uma arquitetura de controle e gestão é necessária para facilitar a plena integração da microgeração e gestão de carga ativa no sistema, uma forma promissora para realizar esse potencial emergente da microgeração é através de uma aproximação sistemática que visa geração e cargas associadas como um subsistema ou uma *Microgrid*. Em um *setup* típico de uma *Microgrid*, o controle e sistema de gestão traz uma potencial variedade de benefícios para todos os níveis de tensão da rede de distribuição, para atingir esse objetivo, diferentes estratégias de controles hierárquicos precisam ser adotadas em diferentes níveis da rede (HATZIARGYRIOU, 2014).

3.2.1 Elementos Controláveis em uma *Microgrid*

Bem como os elementos básicos de fornecimento e demanda, uma *Microgrid* pode potencialmente ser equipada com estruturas de balanceamento de energia, tais como cargas despacháveis (ex: veículos elétricos) e sistemas de armazenamento em subestações como ilustrado na figura 28 (HATZIARGYRIOU, 2014).

Embora muitos tipos de GD sejam mais sustentáveis, um alto nível de energia renovável em *Microgrids* pode tornar a tarefa de estabilidade de rede e entrega de qualidade de potência desafiadora devido a problemas de intermitência e flutuação. Nesses casos, um SAE tem um papel essencial na melhoria de estabilidade, reforçando a confiabilidade e garantido a segurança de fornecimento. Não apenas um SAE pode suavizar as flutuações da saída de GD fotovoltaica, ele pode contribuir também para a operação estável da *Microgrid* (GAO, 2015).

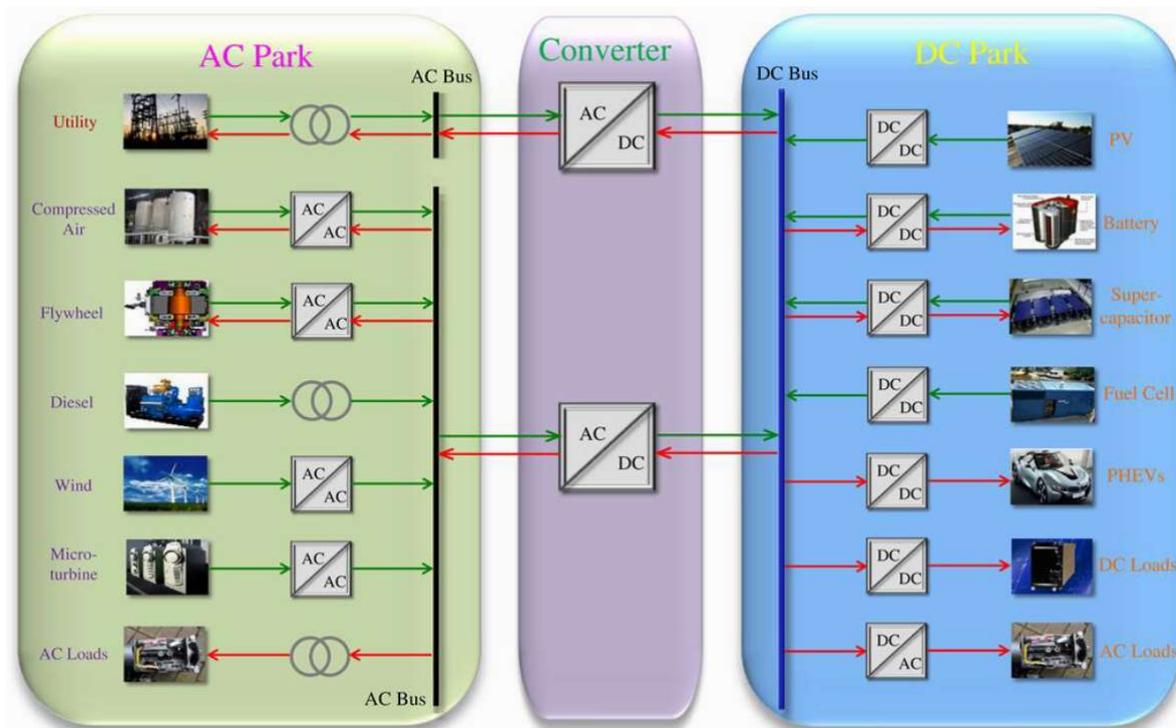


Figura 28 - Elementos Controláveis de uma *Microgrid*
 Fonte: GAO, 2015

3.2.2 Armazenamento de Energia em *Microgrids* de Energia Renovável

A operação e controle de *Microgrids* é desafiadora devido a variabilidade e intermitência da GD renovável, é difícil manter a *Microgrid* operando suavemente todo o tempo. A geração distribuída dependente do tempo pode não ser hábil para acomodar a variação de carga constante muito bem, também a flutuação pode causar instabilidade na *Microgrid*. Por isso, um SAE é muito importante em *Microgrids* de energia renovável, especialmente para *Microgrids* ilhadas. Um SAE pode ser adicionado em locais muito diferentes em uma *Microgrid*, dependendo do seu propósito. Quando agindo como uma carga, o SAE pode atuar com funções de balanceamento de carga e deslocamento de pico de demanda para suavizar a variação de carga e suportar a demanda de pico. Para GD fotovoltaica, o SAE pode suprimir quaisquer flutuações. Também, o SAE é capaz de melhorar a qualidade de potência da *Microgrid* trabalhando com um sistema UPS (*Uninterruptible Power System*) (GAO, 2015).

3.2.3 Gestão de Energia

Um SAE é útil para gerenciar a energia e melhorar a estabilidade e economia de uma *Microgrid*. As maiores funções de gestão de energia incluem balanceamento de carga e deslocamento de pico. Eles são amplamente utilizados para mitigar flutuações da carga e melhorar a qualidade de potência. O balanceamento de carga e deslocamento de pico é semelhante, ambos lidam com a variação da demanda, entretanto o balanceamento de carga é mais focado nas flutuações de curto prazo enquanto que o deslocamento de pico é mais focado nas variações de longo prazo (24 horas) (GAO, 2015).

A figura 29 mostra um exemplo de perfil de carga, nela podemos perceber que a demanda varia ao longo do dia. O pico da demanda acontece por volta das 19:00 e dura em torno de 2 horas. Mas de manhã, antes das 08:00, a carga é bem suave. Então é possível para um sistema de armazenamento de energia armazenar a energia de manhã bem cedo e liberar essa energia para suprimento da *Microgrid* no início da tarde, isso é chamado de deslocamento de pico. (GAO, 2015).

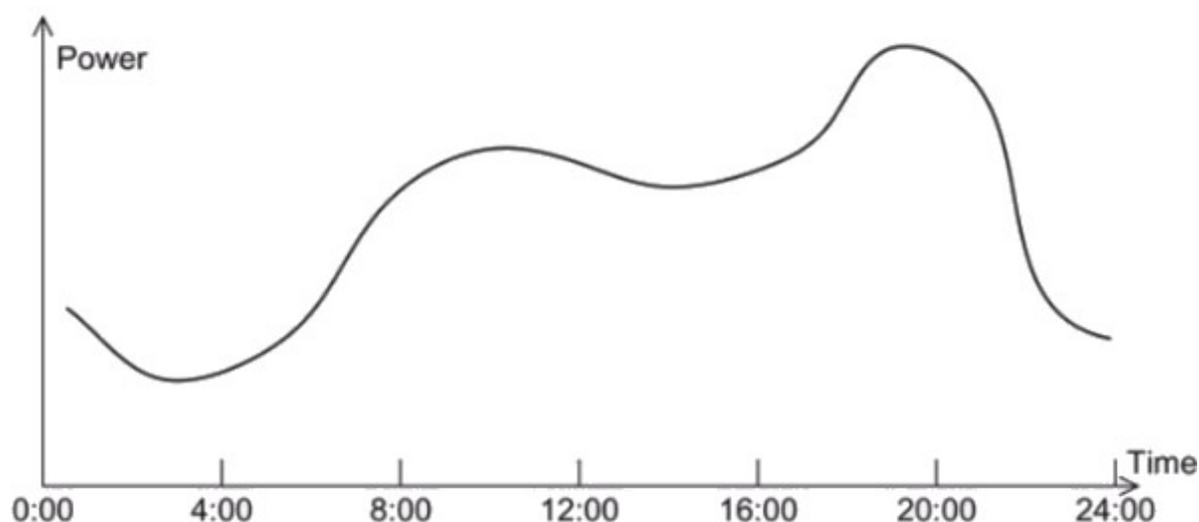


Figura 29 - Exemplo do perfil de carga diário
Fonte: GAO, 2015

Também, um exemplo de variação de curto prazo das cargas é visualizado na figura 30, balanceamento de carga pode ser utilizado para suavizar essa demanda.

Como resultado, a eficiência e a qualidade da potência da *Microgrid* podem ser melhoradas.

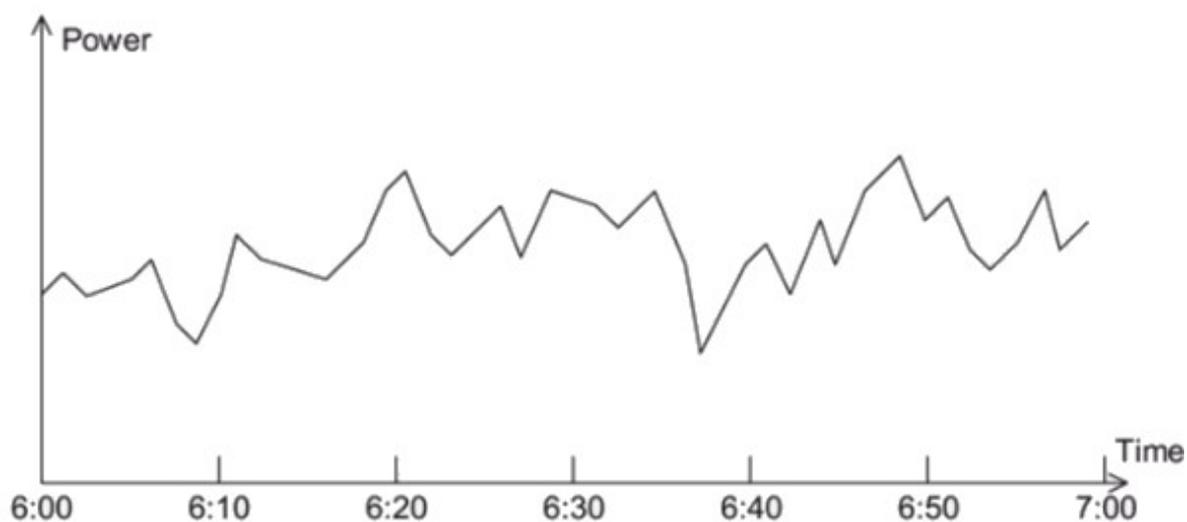


Figura 30 - Variação da demanda em 60 minutos
Fonte: GAO, 2015.

3.2.3.1 Balanceamento de Carga

Balanceamento de carga é uma importante função do SAE. É útil para reduzir a influência da variação de carga e reduzir os custos de uma *Microgrid*. O princípio do balanceamento de carga é mostrado na figura 31. A carga original fica mudando constantemente devido ao ligar e desligar de equipamentos no sistema.

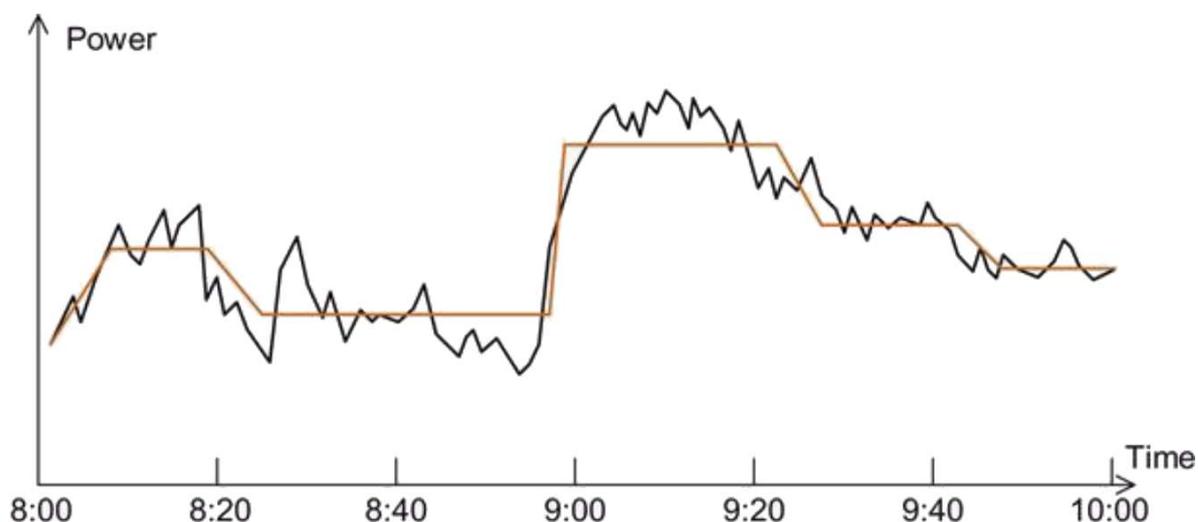


Figura 31 - O Princípio do Balanceamento de Carga
 Fonte: GAO, 2015

Com a ajuda de um SAE, a alteração repentina de carga pode ser compensada, o que significa que o SAE pode funcionar como uma carga em flutuação, a curva de carga então pode ser mantida constante por um tempo se o valor médio da carga não mudar muito (GAO, 2015).

Para o caso de uma *Microgrid* ilhada, como não existe uma fonte de potência da concessionária, a variação de carga pode causar mudança constante na referência dos geradores distribuídos. Como consequência, alguns geradores distribuídos podem não funcionar corretamente, e a *Microgrid* como um todo não será eficiente o que pode ser danoso aos geradores.

Para resolver esse problema, a função de balanceamento de carga de um SAE pode ser aplicada. O SAE na *Microgrid* pode armazenar energia quando a carga é baixa, e descarregar a energia quando a carga é alta. Logo a variação de carga pode ser compensada por um SAE. Na técnica de balanceamento de carga, é importante saber quanto de energia o SAE deve entregar e quanto ele pode armazenar, por razões de operação mais econômica é melhor manter os geradores distribuídos trabalhando sob potência de saída constante para que tenham alta eficiência (GAO, 2015).

3.2.3.2 Deslocamento de Picos

Em uma *Microgrid*, um SAE pode funcionar tanto quanto uma carga (durante o período de carregamento) ou como gerador (durante a descarga), portanto é passível de atuar com a função de deslocamento de picos para reduzir ou eliminar os picos e vales no perfil de carga, então a *Microgrid* poderá satisfazer a alta demanda durante o tempo de pico, isso também é útil para melhorar a economia da operação da *Microgrid*, o princípio do deslocamento de picos é mostrado na figura 32.

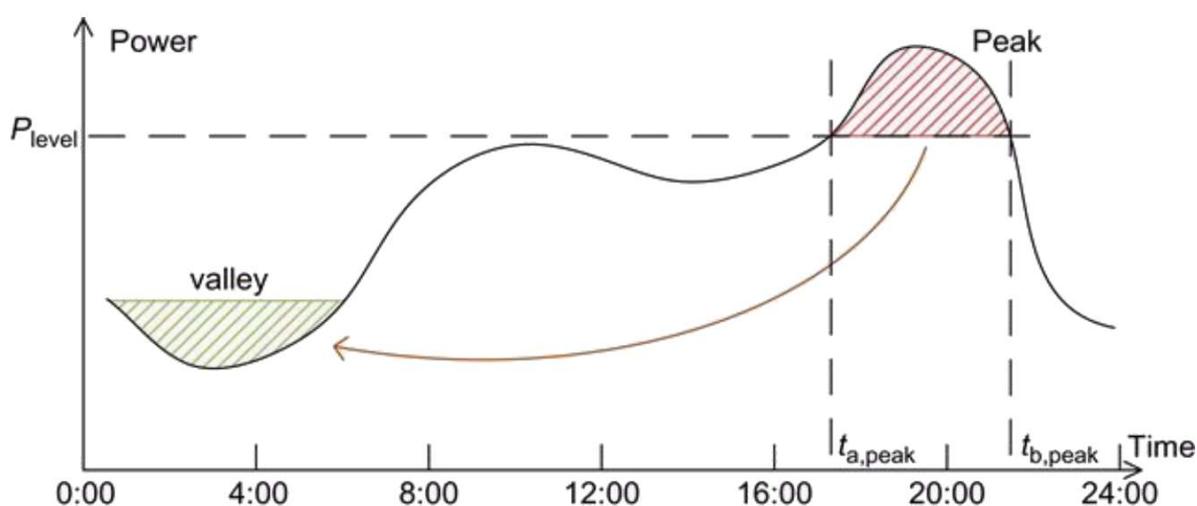


Figura 32 - O Princípio do Deslocamento de Picos
 Fonte: GAO, 2015.

Tipicamente, deslocamento de picos é baseado na tecnologia de previsão de cargas. A partir dos resultados da previsão de cargas, a *Microgrid* é suprida com as informações de quanto de energia ou potência será necessário durante período de pico. Então, o SAE na *Microgrid* pode armazenar a energia necessária durante o período de vale e suportar o sistema no horário de pico, para *Microgrids* conectadas a rede, o deslocamento de picos pode ajudar também a reduzir o custo da *Microgrid* pela redução de energia importada da rede da concessionária durante os horários de pico (GAO, 2015).

3.2.4 Supressão de Flutuação (Mitigação de Intermitência)

Em muitas *Microgrids*, a geração renovável é a maior fonte de geração, especialmente durante operação em ilhamento. Renováveis, como eólica e solar, são normalmente fontes instáveis, a potência de saída das turbinas eólicas e painéis solares são intermitentes devido a variações do tempo como nuvens no caso das filas de painéis e turbulências em torres eólicas. Em adição a isso, a *Microgrid* não é tão resistente quanto a rede da concessionária, logo as flutuações podem causar variações consideráveis na frequência e tensão da rede, o que torna a *Microgrid* instável. Para resolver esse problema, um SAE pode ser adotado para mitigar as flutuações.

Duas técnicas de supressão de flutuação a serem consideradas são: controle de potência constante e filtragem de saída. O objetivo do controle de potência constante é manter a potência de saída da geração renovável constante e o de filtragem de saída é o de utilizar o SAE para simular um filtro passa baixo para que as frequências altas possam ser eliminadas (GAO, 2015).

3.2.4.1 Controle de Potência Constante

Controle de potência constante é um jeito simples de reduzir a flutuação da saída de geradores de energia renovável. Em uma *Microgrid* é melhor manter a saída de geradores distribuídos renováveis de forma constante por um determinado período de tempo, isso faz com que a energia renovável seja uma fonte confiável em uma *Microgrid*. O objetivo do controle do SAE é regular a saída de potência ativa dos geradores.

3.2.4.2 Filtragem de Saída

A filtragem de saída é uma tecnologia que faz o SAE atuar como um filtro passa baixo, para que as frequências altas da saída dos geradores de energia renovável possam ser reduzidas, o que faz com que a saída da geração renovável seja suavizada. Pelo fato de o SAE precisar interagir com altas frequências, a dinâmica do SAE deve ser rápida, baterias e super capacitores são rápidos o

suficiente para serem empregados nessa tecnologia. Assim como a geração eólica, a saída da geração distribuída fotovoltaica é intermitente devido ao sombreamento por nuvens, portanto um SAE é necessário para mitigar essa flutuação da saída de potência dos painéis fotovoltaicos, entretanto como a saída dos painéis pode estar mudando frequentemente isso pode ser danoso para a saúde do SAE, especialmente para baterias, que tem limitações no ciclo de vida (GAO, 2015).

3.2.5 Reserva Girante

A reserva girante é a quantidade de capacidade não utilizada em sistemas de energia *online* que pode compensar a queda de potência ou frequência durante um período de tempo. Tradicionalmente a reserva girante é um conceito para grandes geradores síncronos. Se o maior gerador no sistema de potência é desconectado, os geradores remanescentes precisam aumentar sua potência de saída para compensar a queda de potência, logo alguns geradores no sistema de potência precisam operar abaixo sua potência de placa para se preparar para demanda inesperada ou contingência. Um SAE pode ser utilizado para acomodar um pouco do requisito de reserva girante para microgeradores, podendo reagir mais rápido do que muitos geradores, fazendo com que a recuperação da rede principal seja mais rápida (GAO, 2015).

4 CONCLUSÃO

4.1 MICROGRID E O FUTURO NO BRASIL

Estima-se que no mundo os investimentos no mercado global de *Microgrids* devem dobrar até 2021 e atingir um valor de cerca de US\$ 23 bilhões (GLOBALDATA, 2017).

O Brasil tem se colocado numa posição tímida em relação à adoção das novas e modernas tecnologias das redes de energia do futuro, e avalia a implantação de redes inteligentes através do programa de redes inteligentes criado pela ANEEL em 2010 via projeto estratégico de P&D N°011. Porém, as decisões tomadas pelo Governo Federal em 2012 através da edição da MP 579 causaram grande descompasso no setor elétrico brasileiro, causando problemas para as concessionárias de distribuição de energia e um forte aumento tarifário nos anos subsequentes, em especial 2015 e 2016.

Essa condição tem levado a paridade tarifária em vários estados e um aumento substancial do número de instalações de geração distribuída fotovoltaica. A recente chamada de P&D estratégico 021/2016 para arranjos comerciais de sistemas de armazenamento de energia realizada pela ANEEL começa a introduzir os sistemas de armazenamento nas redes de energia do Brasil, onde as baterias ganham força globalmente com o avanço dos veículos elétricos e estão com seus preços declinantes da mesma forma como tem ocorrido com a energia solar fotovoltaica. A América do Sul, como detentora das maiores reservas de lítio do mundo e localização privilegiada para captação solar, pode acelerar ainda mais a rápida exploração dessas tecnologias pelo continente.

Toda essa convergência de tecnologias abre oportunidades para o surgimento das primeiras *Microgrids* no Brasil, como uma alternativa para a integração dessas fontes de geração intermitentes suportando as concessionárias de energia locais com novas formas de melhorar seus indicadores de qualidade de energia ao mesmo tempo em que podem oferecer aos consumidores novos modelos de remuneração dos seus sistemas de geração distribuída tornando os mesmos mais ativos e integrados a energia renovável.

As *Microgrids* têm o potencial de integrar todos esses novos elementos de forma harmoniosa melhorando a segurança de suprimento energético para que o Brasil possa crescer de forma mais ágil. O sucesso de sua aplicação dependerá de como essas tecnologias conseguirão ser adotadas pelas concessionárias de distribuição de energia, onde projetos piloto devem começar a surgir a partir dos resultados da chamada ANEEL 021/2016 e poderá pavimentar um novo ciclo de desenvolvimento no mercado de energia renovável, criando empregos especializados e de alto valor numa cadeia que envolve diversos fornecedores e tecnologias e que pode prover dinâmica diferenciada a economia dos estados que abraçarem esse futuro.

REFERÊNCIAS

ANEEL – **Tarifa Branca** – <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>> Acesso em: 07/08/2017.

ANEEL – **Geração Distribuída** – <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>> Acesso em: 07/08/2017.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. Cadernos Temáticos ANEEL, 2ª Ed – Brasília, 2016.

AMIN, S. MASSOUD e WOLLENBERG, BRUCE F. *Toward a Smart Grid*. 2005, IEEE Power & Energy Magazine, pp. 34-41.

BUENO, A. F. M. e BRANDÃO, C. A. L. **Visão Geral de Tecnologia e Mercado Para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil**. ABAQUE, 2016.

CMSE - **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico**. Acessado em 11/05/2017 <[Ata da 124ª Reunião do CMSE 2013](#)>

CÂMARA DOS DEPUTADOS – **Decreto Legislativo N° 140 de 2016** – Agosto de 2016. <[Decreto Legislativo N° 140](#)> Acessado em 31/05/2017.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos – Nota Técnica DEA 19/14** – Outubro de 2014. <[Nota Técnica DEA 19/14](#)> Acessado em: 07/08/14

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da Demanda de Energia Elétrica – Nota Técnica DEA 16/11** – Dezembro de 2011. <[Nota Técnica DEA 16/11](#)> Acessado em 21/05/2017

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2016 – Relatório Síntese** – Junho de 2016. <<https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final%202016%20Web.pdf>> Acessado em 21/05/2017.

FINANCIAL TIMES. **Renewables Overtake Coal as World's Largest Source of Power Capacity** – Outubro de 2016. <<https://www.ft.com/content/09a1f984-9a1d-11e6-8f9b-70e3cabccfae>>. Acesso em: 07 de Maio de 2017.

FOREIDOON, P. SIOSHANSI. **Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy**. Academic Press, Editora Elsevier, Oxford, 2012.

FGV ENERGIA. FREITAS, M. R. BRUNO e HOLLANDA, LAVÍNIA. **Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor**. White Paper N°1, 2015. Disponível em: < <http://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-recursos-energeticos-distribuidos>> Acesso em: 07/08/2017.

GERLACH, ALEXANDER e BREYER, CHRISTIAN. **Global Overview on Grid-Parity**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261172522_Global_Overview_on_Grid-Parity> Acesso em: 17/06/2017.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **O Setor Elétrico Brasileiro no Contexto das Mudanças Climáticas e do Acordo de Paris**. Edição N° 17. Fevereiro de 2017. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2017_WhitePaperAcendeBrasil_17_AcordodeParis.pdf>. Acesso em: 07 de Maio de 2017.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatorio Smart Grid**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/acoes/energia-eletrica/relatorio-smart-grid>> Acesso em: 01/06/2017.

PROJETO DIÁLOGOS SETORIAIS UNIÃO EUROPEIA. **Redes Elétricas Inteligentes** - Julho, 2014. Disponível em <http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/redes_eletricas_inteligentes_-_dialogo_setorial_brasil-uniao_europeia_2014.pdf> Acesso em: 07/08/2017.

TOLMASQUIM, MURICIO TIOMNO. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2016.