

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LAÍSA PERES DE ARAUJO
RICARDO ARAUJO GONÇALVES BARBOZA

**ESTUDO SOBRE REDES INTELIGENTES: Conceito, Panoramas,
Tecnologias e Simulação**

VOLTA REDONDA

2020

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO SOBRE REDES INTELIGENTES: Conceito, Panoramas,
Tecnologias e Simulação**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Alunos:

Laísa Peres de Araujo

Ricardo Araujo Gonçalves Barboza

Orientador:

Prof. M. Sc Cláudio Márcio de Freitas da Silva

Coorientador:

Prof. Esp. Bruno Moreira da Silva

VOLTA REDONDA

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Laísa Peres de Araujo

Ricardo Araujo Gonçalves Barboza

Título da Monografia: ESTUDO SOBRE REDES INTELIGENTES: Conceito,
Panoramas, Tecnologias e Simulação

Orientador:

Prof. M. Sc Claudio Marcio de Freitas da Silva

Coorientador:

Prof. Esp. Bruno Moreira da Silva

Banca Examinadora

Prof. M. Sc Cláudio Márcio de Freitas da Silva

Prof. Esp. Bruno Moreira da Silva

Prof. Esp. Aloano Régio de Almeida Pereira

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”

Martin Luther King Jr

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Deus por nos permitir concluir mais uma etapa de nossas vidas e aos nossos familiares por nos apoiarem e acreditarem em nosso potencial.

RESUMO

A rede inteligente é um assunto que está sendo amplamente utilizado na atualidade pelo setor de energia elétrica, aplicando-se tecnologia desde a geração até ao consumidor final. Sua aplicação possui vários benefícios como gerenciamento do fluxo de energia pelos sistemas automatizados em tempo real e informações bidirecionais entre o cliente, concessionárias e operadores do sistema elétrico. Porém, alguns desafios como regulação e interligação ao sistema, dificultam sua realização. A fim de elucidar o assunto de *Smart Grid* e contribuir com a pesquisa na área de engenharia, este trabalho apresenta um estudo sobre as Redes Inteligentes, bem como seu conceito, panoramas e tecnologias, usando como base estudos de outros países principalmente os considerados desenvolvidos. Como forma de evidenciar os benefícios de uma Rede Inteligente, no final do presente trabalho será apresentado uma análise de contingência por meio da simulação de um SEP (Sistema Elétrico de Potência) hipotético com a tecnologia *Self-Healing* através do software PowerWorld Simulator.

Palavras-chave: Redes Inteligentes, *Internet das Coisas*, *PowerWorld*, *Self-Healing*, Medidor Inteligente, análise de contingência, 5G.

ABSTRACT

The smart grid is a topic widely used today by the electric energy sector, applying technology from generation to the final consumer. Its application has several benefits such as energy flow management by automated systems in real-time and bidirectional information between the customer, concessionaires, and operators of the electrical system. However, some challenges, such as regulation and interconnection to the system, hinder its realization. To elucidate the subject of Smart Grids and contribute to research in the engineering area, this work presents a study on Smart Grids, as well as its concept, panoramas, and technologies, based on studies from other countries, especially those considered developed. As a way to highlight the benefits of an Intelligent Network, at the end of the present work a contingency analysis will be presented through the simulation of a hypothetical SEP (Electric Power System) with Self-Healing technology through the PowerWorld Simulator software.

Key words: Smart Grid, Internet of Things, *PowerWorld*, *Self-Healing*, *Smart Meter*, *contingency analysis*, *5G*

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivo.....	15
1.2.1	Objetivos Específicos	15
1.3	Metodologia	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Redes Inteligentes	17
2.1.1	Benefícios da Rede Inteligente	19
2.1.2	Cenário Mundial	19
2.1.3	Cenário Nacional.....	23
2.2	Políticas Públicas e Normatizações.....	28
2.3	Tecnologias	33
2.3.1	Comunicação 5G	34
2.3.2	Internet das Coisas (IoT).....	36
2.3.3	Medidores Inteligentes	39
2.3.4	Chaves Telecomandadas.....	43
2.3.5	Segurança Cibernética.....	43
2.3.6	Geração Distribuída	45
2.3.6.1	Microgrids	47
3	ESTUDO DE CENÁRIO.....	48
3.1	O <i>software</i>	48
3.2	Arranjo do SEP	49
3.3	Simulação	51
3.4	Resultados obtidos	52
3.5	Considerações finais do capítulo	54
4	CONCLUSÃO	55
4.1	Proposta para trabalhos futuros.....	56
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APÊNDICE A.....	66

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 - Mapa de calor de projetos de Smart Grid na Europa: Organizações e locais de implementação	21
Figura 2 - Medidores Inteligentes nos Estados Unidos	23
Figura 3 - Principais Projetos de Smart Grid	25
Figura 4 - Evolução do setor elétrico	28
Figura 5 - Evolução da comunicação sem fio	34
Figura 6 - Vantagens da Tecnologia 5G aplicados à Smart Grid.....	36
Figura 7 - Das Rede Elétrica Inteligente à Internet das Coisas	37
Figura 8 - Medidor Eletrônico	39
Figura 9 - Projeção de medidores inteligentes instalados nas unidades consumidoras do país.	41
Figura 10 - Evolução da Medição	42
Figura 11 - Chave Telecomandada Scada-Mate®	43
Figura 12 - Projeção Micro e Minigeração Distribuída no Brasil	46
Figura 13 – Microgrid.....	47
Figura 14 - Página inicial do software PowerWorld Simulator	49
Figura 15 - Arranjo do SEP no software PowerWorld Simulator.....	50
Figura 16 - Legenda dos ícones do PowerWorld Simulator	50
Figura 17 - Elementos e ações estabelecidas para a Análise de Contingência da Cidade A.....	52
Figura 18 -Ações executadas na Análise de Contingência no software Power Word Simulator	52
Figura 19 - Sumário das ações realizadas na Análise de Contingência no PowerWorld Simulator.....	53
Figura 20 SEP após o Self-Healing com a criação da microgrid na Cidade A	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo REC X REIs	18
Tabela 2 - Motivações dos países para implantação das Redes Elétricas Inteligentes.	20
Tabela 3 - Leis e Decretos	30
Tabela 4 - Resoluções da ANEEL	31
Tabela 5 - Benefícios da medição inteligente	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMI - Infraestrutura avançada de medição

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

AT - Alta Tensão

BT - Baixa Tensão

CEM - Ministério de Energia Limpa

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CI - Comissão de Infraestrutura

DOE - Departamento de Energia dos Estados Unidos

EMS - Energy Management Systems

ETIP - Plataforma Europeia de Tecnologia e Inovação

FOA - Fundação Osvaldo Aranha

GD - Geração Distribuída

IEA - Agência Internacional de Energia

IED - Dispositivo Eletrônico Inteligente

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISGAN - Rede Internacional de Ação de Rede Inteligente

LGT - Lei Geral de Telecomunicações

MI - Medidor Inteligente

MT - Média Tensão

NEDO - Organização de Desenvolvimento de Novas Tecnologias Industriais

PMU - Phasor Measurement Units

PNRI - Plano Nacional de Redes Inteligentes

REC - Rede Elétrica Convencional

REIs - Redes Elétricas Inteligentes

RTOS - Sistema Operacional de Tempo Real

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

SED - Subestação de distribuição

SEP - Sistema Elétrico de Potência

SGCC - State Grid Corporation

SIN - Sistema Interligado Nacional

TEPCO - Tokyo Electric Power Company (Companhia de Energia Elétrica de Tóquio)

TI - Tecnologia e Informação

UK - United Kingdom (Reino Unido)

VE - Veículo Elétrico

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A: Relatório da análise de contingência do SEP.

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos de Nikola Tesla e Thomas Edison, no século XIX, a forma como a energia chega nas residências não sofreu grandes alterações: A energia gerada por grandes fontes (hídricas, térmicas ou nucleares) é convertida em energia elétrica, a tensão então é elevada para transmissão a longas distâncias e reduzida para distribuição nas cidades (TOLEDO et al, 2018). Com o intuito de apresentar a evolução do setor energético, a expressão *Smart Grid* foi utilizada de forma precursora por Amin e Wollenberg (2005). A partir desta perspectiva, o Congresso Americano definiu oficialmente em 2007, através da Lei de Independência e Segurança Energética, o termo *Smart Grid*, em outras palavras Redes Inteligentes (EUA, 2007). Desde então, o termo se tornou objeto dos mais variados estudos científicos com a finalidade de revolucionar o setor elétrico (BUCHER, 2017). De forma análoga, projetos de implementação das Redes Elétricas Inteligentes foram iniciados em diversos países, com a ressalva de que sua realização é distinta entre eles, devido à complexidade e particularidades de cada país advindas de suas respectivas infraestruturas, normas, economia, motivações entre outros fatores que influenciam na implantação.

Os sistemas de energia elétrica em todo o mundo estão enfrentando mudanças radicais estimuladas pela necessidade urgente de descarbonizar o suprimento de eletricidade, substituir ativos antigos e tornar eficiente o uso de tecnologias de informação e comunicação (EKANAYAKE et al. J. , 2012). Desse modo, a Rede Elétrica Inteligente refere-se à inteligência da malha energética, construída com a presença da tecnologia de informação (TI) que proporcionará duas vias de comunicação para o novo sistema de energia. De um certo ângulo, a *Smart Grid* é uma combinação de muitas técnicas e métodos inteligentes de detecção, medição, controle e supervisão, capazes de modernizar o setor e promover alta confiabilidade, segurança, economia, eficiência e qualidade de energia.

Ao analisarmos o cenário nacional, o Brasil com suas dimensões continentais possui uma das matrizes energéticas mais sustentáveis do mundo (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2018) e com um diferencial, o Sistema Interligado Nacional

(SIN). Apesar da diversidade, a maior parte da demanda gerada é por meio das usinas hidrelétricas, como a Usina de Itaipu, considerada a segunda maior do mundo e com potencial de geração de 14,02 GW de potência instalada, sendo responsável por 11,3% da energia consumida no país (ITAIPU BINACIONAL, 2020). As mudanças ocorridas no setor elétrico como a chegada dos veículos elétricos, o aumento da geração distribuída e a ampliação da demanda energética brasileira fazem o país avançar rumo às Redes Elétricas Inteligentes. A descarbonização, digitalização e descentralização são consideradas os principais motores dessa transição do sistema de energia e o Brasil não foge a essa tendência universal (DRANKA & FERREIRA, 2019).

1.1 Justificativa

O setor elétrico tem passado por transformações resultantes da evolução tecnológica, das decisões políticas, das questões econômicas e sociais e dos marcos regulatórios. Diante de tantas mudanças, pode-se dizer que algumas forças estão impulsionando as organizações a pensarem no planejamento de longo prazo que leve em conta todos os possíveis cenários. Dentre essas forças, destacam-se o maior poder para o cliente, maior foco em sustentabilidade e introdução de tecnologias disruptivas na rede elétrica. Dessa forma, as Redes Elétricas Inteligentes têm desempenhado papel fundamental para o aperfeiçoamento da gestão da energia alinhado às inovações tecnológicas.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar as principais características relacionadas à Rede Elétrica Inteligente.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja atingido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Conceituar as Rede Elétrica Inteligente (*Smart Grid*);
- b) Apresentar um panorama considerando os cenários nacional e mundial;
- c) Apresentar as principais tecnologias que viabilizam a implantação da *Smart Grid*;
- d) Simular um cenário hipotético com a tecnologia *Self-Healing*, de forma a elucidar os benefícios da implantação da Rede Elétrica Inteligente.

1.3 Metodologia

A ideia de realizar um estudo sobre as Redes Elétricas Inteligentes, bem como seus conceitos, tecnologias e panoramas, surgiu após a leitura da reportagem “ABB lança solução para digitalização das redes” da edição nº 546 de setembro de 2019 da revista Eletricidade Moderna.

Desta maneira, para realizarmos o estudo sobre as Redes Elétricas Inteligentes utilizamos o método descritivo. O presente trabalho está dividido em duas partes, revisão bibliográfica e simulação. As informações referentes às *Smart Grids*, que compõe a nossa revisão bibliográfica, foram obtidas por meio de consulta em livros, relatórios técnicos, documentos eletrônicos, teses e monografias.

Posteriormente, para melhor entendimento e maior visibilidade dos benefícios da implantação da *Smart Grid*, foi realizado uma simulação de um Sistema Elétrico de Potência (SEP) utilizando o software *PowerWorld Simulator*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Redes Inteligentes

A Rede Inteligente ou também conhecida como *Smart Grid*, é considerado o mais promissor conglomerado de tecnologia capaz de revolucionar todo setor elétrico (SCHETTINO, 2013). Por se tratar de um conceito, e não de um produto, sua definição é distinta entre os órgãos governamentais, empresas do setor e institutos de pesquisas. Porém, é consenso entre todos, que a inserção das novas tecnologias à convencional infraestrutura do setor elétrico, apresentará importantes melhorias na gestão dos processos, qualidade de energia, sensoriamento das cargas, correção de falhas e no relacionamento entre órgãos reguladores, concessionárias de energia e clientes. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), define o termo *Smart Grid* como sendo uma infraestrutura que integra equipamentos e redes de comunicação de dados ao sistema de fornecimento de energia (ANEEL, 2012). Em seguida, podemos verificar a definição de *Smart Grid* por órgãos internacionais.

A *European Technology Platform* (European Commission, 2006) define Smart Grid como:

- “Uma Smart Grid é uma rede elétrica que pode integrar de forma inteligente as ações de todos os usuários conectados a ele – geradores, consumidores e aqueles que fazem ambos – a fim de entregar com eficiência o fornecimento de eletricidade sustentável, econômico e seguro.”

De acordo com o Departamento de Energia dos EUA (U.S Department of Energy, 2009):

- “Uma rede inteligente utiliza tecnologia digital para melhorar a confiabilidade, segurança e eficiência do sistema elétrico de grande geração, através dos sistemas de fornecimento de eletricidade aos consumidores, e um número crescente de recursos de geração distribuída e armazenamento de energia.”

Já em “*Smarter Grids: The Opportunity*” do Reino Unido (Department of Energy and Climate Change, UK, 2009) propõe a seguinte definição:

- “Uma rede inteligente usa sensores, processamento integrado e comunicações digitais para permitir que a rede elétrica a ser observada (capaz de ser medida e visualizada), seja controlável (capaz de ser manipulada e otimizada), automatizada (capaz de ser adaptar e se autorrecuperar) e totalmente integrada (interoperável com os sistemas existentes e com a capacidade de incorporar um conjunto diversificado de fontes de energia).”

Por fim, como forma de sintetizar as características das Redes Inteligentes, na tabela (1) são apresentadas as principais diferenças entre a rede convencional e a inteligente.

Rede Elétrica Convencional (REC)	Rede Elétrica Inteligente (REI)
Eletromecânica	Digital
Comunicação Unidirecional	Comunicação Bidirecional
Geração centralizada	Geração distribuída
Hierárquica	Em rede
Poucos Sensores	Sensores em toda rede
Sem visão total da rede	Automonitoramento
Recuperação manual pós-falha	Autorrecuperação
Falhas e blecautes	Adaptativa com <i>microgrids</i>
Verificação/Testes Manuais	Verificação/Testes remotos
Controle limitado	Controle Universal
Poucas escolhas ao consumidor	Muitas Escolhas ao consumidor

Tabela 1- Comparativo REC X REIs

Fonte: Adaptada de (IEEE Power & Energy Magazine , 2009).

2.1.1 Benefícios da Rede Inteligente

Ao pontuarmos os benefícios acerca da implementação das Redes Inteligentes no setor elétrico, podemos destacar (KAGAN et al, 2013) (RODRIGUES et al, 2018):

- Autocura: Capacidade do sistema se autorrecuperar após detecção de um distúrbio, minimizando o tempo de inatividade e reduzindo as perdas;
- Consumidor ativo: Visibilidade em tempo real do consumo e a possibilidade de gerar sua própria energia (consumidor-gerador);
- Redução das perdas técnicas e comerciais (fraude);
- Mudança no paradigma de energia elétrica (todos os setores);
- Utilização das fontes renováveis de forma eficiente;
- Qualidade de energia: Redução de picos, perturbações e interrupções no fornecimento de energia;
- Aumento da diversidade da matriz energética;
- Resposta à demanda: Através da medição antecipada, as concessionárias serão capazes de fomentar programas de resposta à demanda, com intuito do consumidor reduzir o consumo de energia em horários de pico;
- Redução de emissões de gases do efeito estufa pela presença da geração distribuída;
- Habilitação de operação ilhada à rede principal;
- Perspectiva do consumidor: Introdução de novas modalidades tarifárias e melhor relacionamento entre concessionária e consumidor;
- Ganho da eficiência operacional: Otimização de mão de obra para manutenção do sistema.

2.1.2 Cenário Mundial

Ao abordarmos as motivações para a automatização das redes elétricas em um contexto mundial, fica evidente que o incentivo de cada país ou continente altere de acordo com os cenários econômicos, questões climáticas, disposição de recursos e

estrutura do setor elétrico. Na tabela 2 podemos analisar as principais motivações de três países e o continente Europeu, e analisar as variações de cada um deles.

EUA	Europa	Japão	China
<ul style="list-style-type: none"> • Agenda tecnológica para recuperação econômica • Infraestrutura obsoleta • Geração distribuída de energia • Confiabilidade, segurança e eficiência do sistema • Uso de veículos elétricos e híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de diversas fontes de energia renováveis • Infraestrutura envelhecida • Uso de veículos elétricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação energética (acidentes nucleares) • Uso de veículos elétricos • Implantação de cidades inteligentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de cidades inteligentes e protagonismo mundial em IoT • Eficiência energética • Diversificação energética (renováveis)

Tabela 2 - Motivações dos países para implantação das Redes Elétricas Inteligentes.

Fonte: (RIVERA et al, 2013).

Conforme mencionado, as motivações variam conforme as necessidades dos países, porém é consenso e objetivo de todos eles tornarem suas fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Para que ocorra o desenvolvimento e implantação acelerada das redes inteligentes nos governos, a Agência Internacional de Energia (IEA) criou um programa cooperativo denominado Rede Internacional de Ação de Rede Inteligente (ISGAN). A plataforma, que também é uma iniciativa do Ministério de Energia Limpa (CEM), tem como foco as atividades em que os governos possuem autoridade regulatória. O trabalho pôde ser dividido em cinco partes, que são: normas e regulamentos políticos, modelos de finanças e negócios, desenvolvimento de tecnologias, habilidades e conhecimentos da força de trabalho e o engajamento entre consumidor e usuário (ISGAN, 2018). A seguir, visualizaremos as ações em diversos países e continentes.

Na Europa, a Plataforma Europeia de Tecnologia e Informação (ETIP) elaborou um plano de desenvolvimento para apoiar a transição do setor elétrico, denominado Redes Inteligentes para Transição de Energia (SNET). Em 2018, a ETIP lançou o projeto denominado Visão 2050, com objetivo de inspirar descobertas a fim de fazer com que o sistema energético pan-europeu possua baixo consumo de carbono e em contrapartida aumente sua confiabilidade e segurança, além de tornar o sistema

acessível e econômico com base no mercado (ETIP SNET VISION 2050, 2018). Recentemente, no primeiro semestre de 2020, a plataforma lançou o roteiro denominado *Research & Innovation (R&I) 2020-2030*, de maneira a identificar todas as ações que precisam ser abordadas durante a década. Para que em 2050 o objetivo final seja atingido, será necessário abordar temas como a cooperação entre os operadores do sistema, integração intersetorial, o mercado local e o uso eficiente da energia. Dessa forma, o roteiro estima que será necessário investir 4 bilhões de euros para realizar a transição de forma eficiente do setor elétrico (ETIP SNET, 2020). Na figura (3) podemos visualizar os locais do continente europeu que possuem projetos e organizações voltados para a implementação das *Smart Grids*.

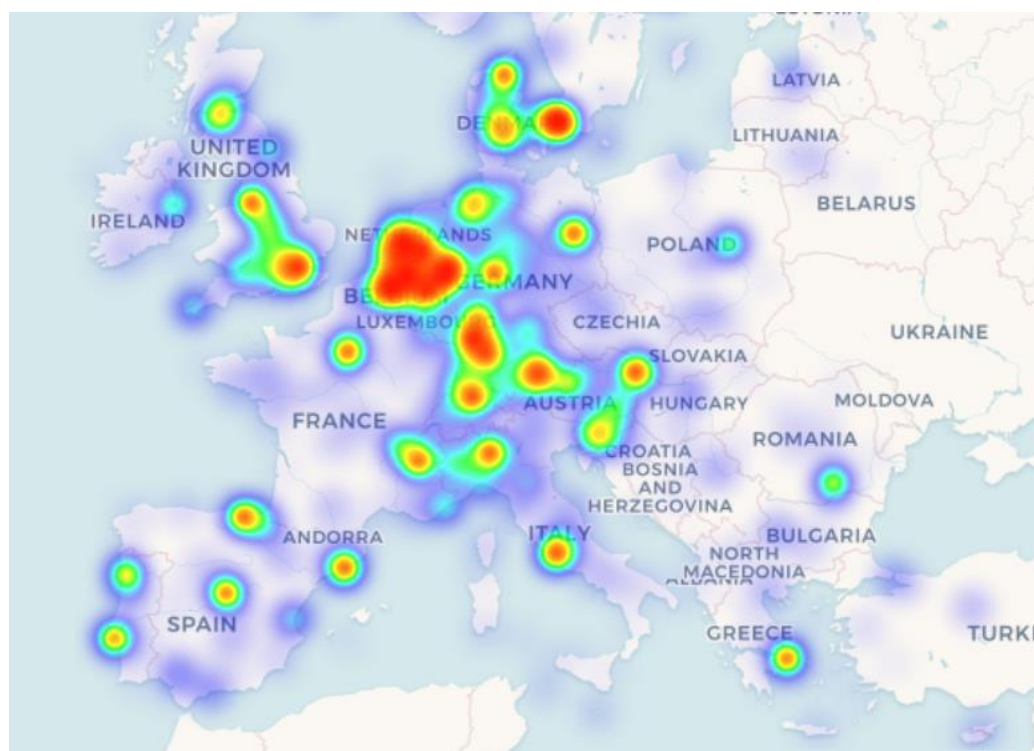


Figura 1 - Mapa de calor de projetos de Smart Grid na Europa: Organizações e locais de implementação

Fonte: (European Commission, 2020).

Na Grã-Bretanha, as empresas do setor elétrico responsáveis por cerca de 90% da energia gerada do Reino Unido, se uniram e formaram a associação *Energy UK*, com a finalidade de tornar a energia do país mais sustentável e descarbonizada. Para

atingir tal objetivo, no ano de 2019 a associação publicou um relatório denominado *Future of Energy*, que visa apresentar o caminho a ser seguido para a evolução da matriz energética à medida que as tecnologias avançam. No relatório, foram abordados itens como os requisitos e metas para o aumento da eficiência energética e a necessidade de uma política a longo prazo a fim de garantir estabilidade regulatória, como forma de atrair investimentos no setor e tornar o mercado mais competitivo (ENERGY UK, 2019).

Historicamente, o Japão foi um dos primeiros países a investir em pesquisa e desenvolvimento de Redes Inteligentes. Em 2003 foi fundado a Organização de Desenvolvimento de Novas Energias e Tecnologias Industriais (NEDO), responsável por todas as pesquisas pertinente às REIs (EU BUSINESS IN JAPAN, 2020). Desde o terremoto de Tohoku em 2011, a Smart Grid vem atraindo mais atenção tanto do Governo quanto da população japonesa, pois desejam utilizar os recursos locais e tecnologias de forma mais inteligente. Desta forma, há diversas cidades pelo país utilizando recursos de microgrids, com ênfase nas gerações fotovoltaicas tanto conectadas à rede (On-Grid) quanto as não conectadas (Off-Grid), tendo Higashi Matsushima como cidade modelo, a mesma ajudou a impulsionar a popularidade das microgrids no país, através de ótimos resultados adquiridos. Em 2017, a empresa de energia do Japão, Tokyo Electric Power Company (TEPCO), instalou 10 milhões de AMIs (Infraestrutura avançada de medição), também conhecidos como medidores inteligentes (HARVARD BUSINESS SCHOOL, 2017). Para até 2030, o país estipula que aproximadamente 20% de sua energia seja produzida por fontes renováveis, o que incluirá 64GW de energia (Power Technology, 2018).

Por fim, os Estados Unidos, de onde caracterizou-se o tema *Smart Grid*, em 2009 foi elaborado a Lei Americana de Recuperação e Reinvestimento, a mesma concedeu ao Departamento de Energia (DOE) 4,5 bilhões de dólares para iniciar a modernização da rede (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2020), cerca de 3,4 bilhões foram destinados a financiar projetos do programa de investimento em redes inteligentes, o *Smart Grid Investment Grant* (SGIG) (U.S. Department of Energy, 2020). Ao analisarmos a malha energética dos EUA, a contribuição de energia fóssil em fevereiro de 2020 correspondia a 62,7% (US Energy Information Administration, 2020), com propósito de aumentar a sustentabilidade e conseqüentemente reduzir a

dependência de fontes poluentes, para até 2025 os americanos planejam obter 25% de sua energia por meio de fontes renováveis (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012). Além disso, o país tem como foco atualizar seu sistema de transmissão e distribuição que são considerados obsoletos e deteriorados. Para essa modernização, os americanos têm adotado diversas estratégias e planos para viabilidade de incorporar ferramentas inteligentes, com destaque aos medidores inteligentes, que conforme a figura (2) estão ocorrendo, anualmente, diversas instalações em todo país, com projeções cada vez maiores para os próximos anos.

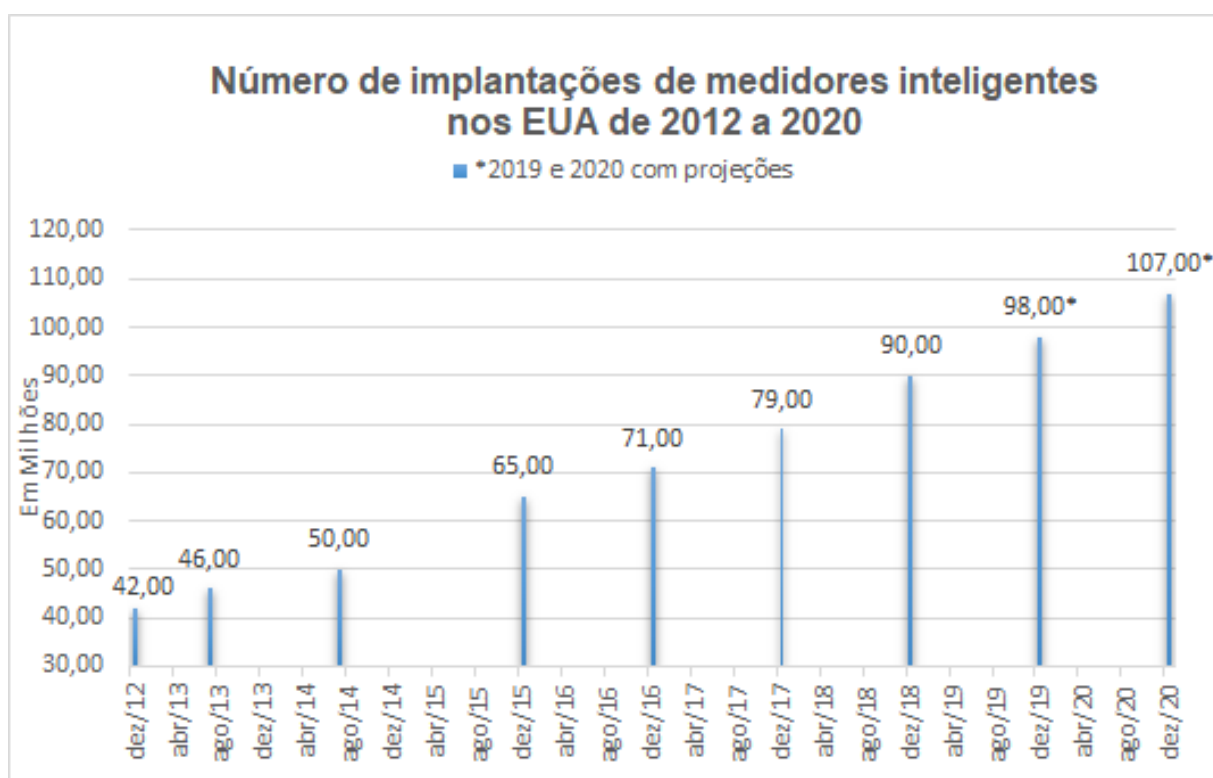


Figura 2 - Medidores Inteligentes nos Estados Unidos

Fonte: Adaptada de (Sönnichsen, 2020).

2.1.3 Cenário Nacional

A ANEEL após reconhecer a tendência mundial de atualização do setor elétrico convencional para uma infraestrutura que se associa às tecnologias de informação e

comunicação, publicou em junho de 2010 a chamada de 011/2010, intitulado Projeto Estratégico: Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente (ANEEL, 2010). A chamada originou o Plano Nacional de Redes Elétricas Inteligentes (PNRI), considerado um importante passo no âmbito de Projeto Estratégico de P&D da ANEEL, com a finalidade de estudar, desenvolver e pesquisar assuntos relacionados à *Smart Grid* no Brasil (KAGAN et al, 2013). O programa que contou com a proposta da CEMIG Distribuição e o apoio de 36 concessionárias de distribuição e geração de energia elétrica (ABRADEE, 2020), identificou como os principais motivadores para a implantação das REIs no país, itens como aumento da confiabilidade, redução das perdas técnicas e não técnicas, lês-se também furto de energia, aumento da eficiência operacional e melhora na gestão de ativos (KAGAN et al, 2013).

O Projeto estabeleceu premissas básicas com intuito de criar metas e objetivos a serem seguidas pelos órgãos participantes, dentre todas elas, podemos destacar (ANEEL, 2010): Oferecer subsídios para a definição de políticas públicas visando a adoção do conceito de Redes Elétricas Inteligentes no Brasil; Avaliar a situação das políticas públicas de P&D, industrial e de financiamento, incluindo o desenvolvimento da cadeia de equipamentos e serviços; Avaliar possíveis cenários de penetração das tecnologias de microgeração distribuída, medição inteligente e veículos elétricos; Realizar uma avaliação inicial da receptividade dos consumidores frente às possíveis mudanças no setor elétrico; Avaliar a disposição das tecnologias disponíveis mundialmente e determinar a aplicabilidade e condições associados à realidade brasileira; Levantar os impactos no valor das tarifas e identificar as principais barreiras regulatórias e normativas para implantação das REIs no Brasil.

Por consequência, a Chamada da ANEEL resultou na criação de nove Projetos Pilotos em todo território nacional (ROLAND BERGER, 2014). É válido mencionar que ao todo há 178 projetos catalogados, que possuem abordagens e iniciativas distintas para implementação de *Smart Grid*, com investimento aproximado de R\$ 411,3 milhões. (ABDI, 2017). A figura (3) apresenta os principais projetos desenvolvido pelas concessionárias de energia elétrica.



Figura 3 - Principais Projetos de Smart Grid

Fonte: (ABDI-b, 2014).

COPEL: *Paraná Smart Grid* (PR): Projeto liderado pela COPEL em parceria com a Lactec, Sanepar, Compagás e Tecpar. A aplicação do projeto foi implantado em área com alta densidade de cargas e visibilidade, com intuito de levantar dados da possibilidade de redução de custos operacionais, incorporação dos medidores inteligentes, geração distribuída, multimedição (Gás, Água e Energia) e a tarifa binômia (COPEL, 2013).

Light: *Projeto Smart Grid Light* (RJ): Iniciado em 2010, o projeto mostrou-se promissor e revolucionário em diversos aspectos. Em 2017, a concessionária fluminense em parceria com a fabricante *Landys+Gyr*, instalou mais de 700 mil dispositivos inteligentes, contemplando desde medidores eletrônicos a soluções de automação (Canal Energia, 2017).

Ampla: *Cidade Inteligente Búzios (RJ)*: O projeto que iniciou em 2011 teve sustentabilidade, inovação e tecnologias como palavras chaves, além disso, foi considerada a primeira cidade inteligente da América Latina (O GLOBO, 2012). Encerrado em novembro de 2016, o projeto contou com investimento de R\$ 40 milhões (ENEL).

CEMIG: *Cidade do Futuro (MG)*: Considerado um dos mais abrangentes programas brasileiros de implantação de redes inteligentes (REDES INTELIGENTES BRASIL, 2013). A concessionária iniciou realizando a instalação de 3800 medidores inteligentes na cidade de Sete Lagoas (CEMIG, 2012). O projeto avaliou os impactos na tarifa, capacitação dos profissionais frente as novas tecnologias e indicou os principais desafios na implantação massiva de soluções de *Smart Grid*.

EDP: *Projeto InovCity (SP)*: O projeto-piloto da EDP em Aparecida do Norte-SP, teve como meta desenvolver soluções que contemplem diversos temas de Smart Grid e Smart City, como: Geração Distribuída, Mobilidade Elétrica, Iluminação Pública inteligente e Medidores inteligentes (REDES INTELIGENTES BRASIL, 2013).

AES Eletropaulo: *Projeto Smart Grid (SP)*: Apontado como o maior projeto do Brasil pela revista *The Global Smart Energy Elites* em 2015 (AES Brasil, 2016), teve como objetivo interligar o processo de medição, operação e automação de modo inteligente.

ELEKTRO: *Projeto Smart City (SP)*: O projeto iniciou em 2014 e foi dividido em cinco partes, são elas: Medição Inteligente, Geração Distribuída, Iluminação Pública, Veículos Elétricos e Interação com o consumidor.

CELPE: *Arquipélago Fernando de Noronha Smart Grid* (PE): Desenvolvida em uma reserva ambiental, o projeto-piloto da CELPE no arquipélago permitiu avaliar as ações apresentadas sob a perspectiva ambiental (RODRIGUES et al, 2018).

É válido ressaltar que há pouca bibliográfica disponível acerca das atualizações referente aos projetos pilotos divulgados acima.

Recentemente, em setembro de 2020, a COPEL anunciou o seu mais novo projeto referente à *Smart Grid*, denominado Rede Elétrica Inteligente. O programa tem como objetivo, na primeira fase, automatizar a rede de distribuição de 151 municípios das regiões Leste, Centro-Sul, Sudoeste e Oeste (COPEL, 2020). Conforme informado pela empresa, o investimento dessa etapa será de R\$ 820 milhões e permitirá que as unidades consumidoras, através dos medidores inteligentes, comuniquem-se diretamente com a central de operação da distribuidora. Com isso, a COPEL conseguirá identificar com maior exatidão a localização das falhas e, ou desligamento da rede e, assim otimizar o tempo de reestabelecimento de conexão. Além disso, os consumidores poderão acompanhar e controlar o seu consumo de energia instantaneamente por meio do telefone celular entre outros benefícios (COPEL, 2020).

Outro ponto primordial na análise das redes inteligentes no Brasil, é a atual estrutura da automação. Conforme figura (4), é verdade que avançamos neste quesito nos últimos anos, entretanto, o ritmo pouco agressivo em consequência das crises econômicas e políticas no país, frearam os avanços tão necessários para uma transição sistêmica e inteligente. Na conjuntura atual, os níveis de controle e supervisão de equipamentos são direcionados principalmente ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e às subestações de distribuição (SEDs) (KAGAN et al, 2013). Vale frisar, que atualmente as medições remotas são realizadas, majoritariamente, em consumidores de Alta Tensão (AT) e grandes consumidores de Média Tensão (MT).

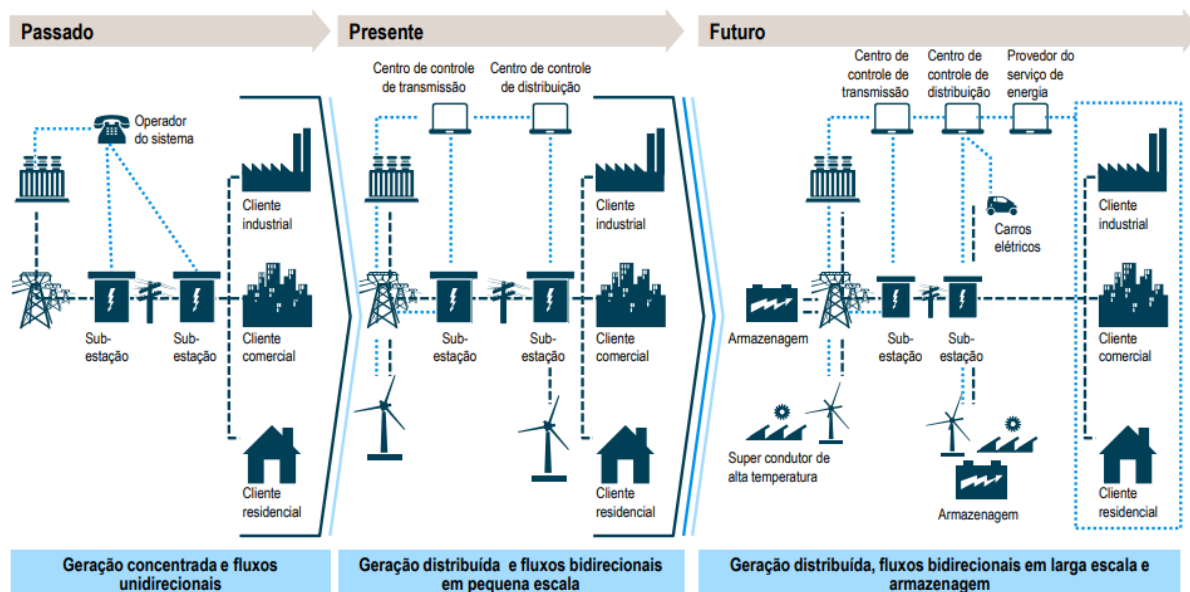


Figura 4 - Evolução do setor elétrico

Fonte: CPFL; IEA; Roland Berger Strategy Consultants

Com a evolução do setor no âmbito das redes inteligentes e com a chegada das novas tecnologias, como por exemplo os veículos elétricos e as novas fontes de geração, espera-se que o sistema de Tecnologia e Informação (TI) e os indicadores de supervisão e eficiência energética sejam muito superiores aos vigentes. Além disso, as novas tecnologias de automação serão incorporadas também às redes de média e baixa tensão, o que possibilitará a inteligência local e a medição inteligente bidirecional em todos os níveis de tensão, integrando inúmeras funcionalidades como o corte seletivo de carga e tarifas diferenciadas (KAGAN et al, 2013).

2.2 Políticas Públicas e Normatizações

O Brasil observou todo o processo evolutivo das *Smart Grids* em outros países, o que pode ser constatado dentre as experiências, sendo unanimidade entre elas, foi o papel fundamental dos órgãos reguladores, leia-se Governo, empresas privadas, e em alguns casos, participação ativa da sociedade civil. Contudo, as premissas regulatórias, como a sua implantação, são distintas entre as realidades dos países ou conjunto de países, como no caso da União Europeia. Os projetos de *Smart Grid* foram iniciados por volta de 2008, período anterior à consolidação da crise econômica

mundial. Anteriormente, existiam certas iniciativas, mas sem a complexidade e alavancagem que o projeto demandava (EKANAYAKE et al. J. , 2012). Além disso, os países que conseguiram avançar com a proposta, constataram que a inserção de tecnologia aumenta o desempenho coletivo, incentiva a utilização mais racional dos recursos naturais, reduz riscos e amplia o sensoriamento dos atributos instalados e, conseqüentemente, ampliando o bem-estar social, marcando um novo período evolutivo do setor (NERY, 2018).

O Plano Nacional de Redes Inteligentes do Brasil, mencionado anteriormente, foi um importante passo para o país trazer a público a necessidade de estudar meios para revolucionar seu setor elétrico. Porém, a implementação só será viável com amplo esforço dos órgãos reguladores afim de realizar as devidas adequações em regulamentos, normas e legislações. A regulamentação necessária para a implantação dessas redes, novos serviços e tarifas são de responsabilidade da ANEEL, enquanto as normas contento as especificações e métodos de ensaios para novos medidores eletrônicos inteligentes vão requerer a participação da ABNT. Por seu turno, a certificação desses medidores vai demandar a participação do Inmetro (KAGAN et al, 2013).

As tabelas (3) e (4) demonstram um pouco do arcabouço regulatório a respeito do setor elétrico brasileiro. Algumas destas leis, decretos e resoluções deverão passar por avaliações, a fim de criarem meios de facilitar e tornar sustentável a implantação das novas tecnologias e formas de medição de energia elétrica.

Leis e Decretos Federais, relativos ao fornecimento de energia e modelo tarifário	
Leis e Decretos	Ementa
Lei nº 8631, Lei nº 9074, Lei nº 8987, Lei nº 10.848, Decreto nº5163	Contratos de concessão de Distribuidoras
Decreto nº 41.019, de 26 de Fevereiro de 1957.	Regulamenta os serviços de energia elétrica
Lei nº 8631, 4 de Março de 1993	Dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências.
Lei nº9074, 7 de Julho de 1995	Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos prevista no art. 175 da Constituição federal e dá outras providências.
Lei nº 9427, 26 de Dezembro de 1996	Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica(ANEEL), que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.
Lei nº 10.848, de 15 de Março de 2004. Altera as Leis nº 5.655, de 20 de Maio de 1971; nº 8631, 4 de Março de 1993; nº 9074, de 7 de Julho de 1995; nº 9.427, de 26 de Dezembro de 1996; nº 9.478, de 6 de Agosto de 1997; nº 9.648, de 27 de Maio de 1971; nº 9.991, de 24 de Julho de 2000, nº 10.438, de 26 de Abril de 2002.	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, e dá outras providências.
Lei nº 12.212 de 2010	Trata dos Consumidores com direito à Tarifa Social.
Decreto nº 5163, de 30 de Julho de 2004.	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências.

Tabela 3 - Leis e Decretos

Fonte: Adaptada de (KAGAN et al, 2013).

Principais Resoluções da ANEEL em relação a medição de energia elétrica	
Resoluções	Ementa
Resolução nº 258, 6 de junho de 2003	Estabelece critérios e procedimentos a serem adotados por concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica que optar por instalação de equipamentos de medição em local externo à unidade consumidora.
Resolução Normativa nº414, 9 de dezembro de 2010	Regulamento que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada
PRODIST(Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 5)	Sistemas de Medição que norteia e estabelece os critérios mínimos para os sistemas de medição de energia elétrica.
Resolução Normativa nº407, de 27 de julho de 2010	Regulamenta a aplicação da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE).
Resolução Normativa nº426, de 15 de fevereiro de 2011	Prorroga os prazos estabelecidos, nos incisos I e II do art.221 da Resolução Normativa nº414, de 9 de dezembro de 2010
Resolução Normativa nº502, de 7 de agosto de 2012.	Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do grupo B.

Tabela 4 - Resoluções da ANEEL

Fonte: Adaptado de (KAGAN et al, 2013).

Embora as iniciativas da ANEEL tenham gerado certos resultados, como, por exemplo, a consulta pública 015/2009 (subsídios e informações para implantação da medição eletrônica de baixa tensão) (ANEEL- e, 2009), e a Chamada 011/2010 (Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente) (ANEEL, 2010), estas demonstraram-se iniciativas tímidas na ótica de políticas nacionais amplas que incentivem a implementação das *Smart Grids*. Certas limitações impostas as concessionárias de energia inibem a diversificação de serviços, consequentemente dificulta o aumento de capital, o que inviabiliza realização de investimentos mais robustos em redes inteligentes (KAGAN et al, 2013).

O artigo 11 da Lei nº 8987/1995 (BRASIL, 1995), apresenta-se uma boa oportunidade para que as concessionárias possam realizar serviços distintos do fornecimento de energia elétrica, contanto que elas retornem em benefício da categoria tarifária. No entanto, ao longo do tempo, este requisito se apresentou objeto de conflito, por consequência, a ampla maioria das concessionárias criaram empresas paralelas para vencerem parcialmente as disputas. Dessa forma, essas restrições têm limitado os processos tecnológicos, e se baseiam a uma regulação prescritiva que não permite a propagação de sistemas de redes inteligentes (NERY, 2018).

Uma das concepções que ampliariam os horizontes a um sistema inteligente, seria a abertura do mercado do setor elétrico. Traçando um paralelo com o mercado de telecomunicações, no ano de 1997 a Lei Geral de Telecomunicações (LGT - Lei 9.472/97), possibilitou, mesmo que não totalmente, a competição de muitas empresas no setor, e sendo responsável por gerar preços mais razoáveis, aumento da escalabilidade, criação de oportunidades de investimento e estimulando o desenvolvimento tecnológico e industrial em ambiente competitivo. Há de deixar claro, que há muitas diferenças entre ambos os setores, porém algumas das estratégias utilizadas no setor de telecomunicações podem ser utilizadas para criarmos um mercado de energia elétrica descentralizado e competitivo. Uma vez que, segundo Friedrich Hayek, vencedor do Nobel de economia de 1974, a ampla concorrência do mercado gera resultados positivos para os consumidores (HAYEK, 1976).

Em Março de 2020, a Comissão de Infraestrutura (CI) do Senado Federal concluiu a votação do novo marco regulatório do setor elétrico, a PLS 232/2016 (AGÊNCIA SENADO, 2020). No projeto de lei, foram apresentadas alternativas para a descentralização do mercado de energia elétrica, o que possibilitará o consumidor escolher, de acordo com as suas preferências, a concessionária de energia adequada. Esta flexibilização, incentivará as empresas a buscarem mais inovações e preços mais competitivos, a fim de vencerem a ampla concorrência. Entretanto, nesta mesma proposta, foram apresentados o fim dos subsídios federais dados às energias alternativas e a inclusão de um tributo para, segundo o relator do projeto o senador Marco Rogério (DEM-GO), “diminuir as distorções geradas pela migração a essa nova modalidade de compra de energia” (AGÊNCIA SENADO, 2020).

Portanto, é primordial que a regulamentação do setor elétrico brasileiro passe por profunda reformulação, visto que ela foi formulada em um período anterior às crescentes demandas por sistemas inteligentes. Logo, mostra-se improdutivo e obstáculo às transições tecnológicas, sendo dever dos governantes em conjunto aos órgãos representativos, traçar meios que permitam o avanço a um novo marco tecnológico, conseguindo assim uma rede elétrica inteligente, sustentável e segura.

2.3 Tecnologias

Algumas tecnologias se fazem necessárias serem desenvolvidas e implementadas em uma rede elétrica, a fim desta ser considerada inteligente (EKANAYAKE et al. J. , 2012) (BENICIO et al, 2018). Sendo elas:

- 1) Tecnologias de informação e comunicação. Estas incluem:
 - i. Tecnologias avançadas de comunicação bidirecionais para fornecer conectividade entre diferentes componentes no sistema;
 - ii. Protocolos abertos, permitindo ampla interoperabilidade entre os diferentes *hardwares* e *softwares* interconectados;
 - iii. Software da concessionária, demonstrando ao consumidor o consumo de energia em tempo real, permitindo o cliente ter maior controle sobre seus gastos e monitorar período do dia de maior consumo;
 - iv. Software para garantir e manter a segurança das informações enviadas e recebidas pelos sensores e medidores.

- 2) Tecnologias de detecção, medição, controle e automação:
 - i. Dispositivos eletrônicos inteligentes (IED's): medidores inteligentes, relés de proteção avançados, chaves telecomandas e registros de falhas e eventos para o sistema de energia;

- ii. Os fluxos de potência e frequência das tensões e correntes deverão ser monitorados por *Phasor Measurement Units* (PMU's). Softwares de operação e monitoramento do estado da rede como o *Energy Management Systems* (EMS) carregando informações de sistemas através do *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) e com robustos sistemas de proteção de dados, com a possibilidade de utilização da tecnologia *Blockchain*, deverão ser empregados.
- iii. Geração Distribuída;

Além das tecnologias supramencionadas, a seguir serão elucidadas as tecnologias a serem utilizadas nas Redes Elétricas Inteligentes.

2.3.1 Comunicação 5G

Segundo o relatório de pesquisa Navigant, a comunicação 5G são redes mais seguras, confiáveis, multifuncionais, flexíveis, e com alta taxa de transmissão de dados. Desta maneira, as redes 5G fornecem uma plataforma mais robusta para suportar problemas críticos e aplicação de reparos na rede (Navigant Research, 2018).



Figura 5 - Evolução da comunicação sem fio

Fonte: (ETHOZ, 2019)

Conforme abordado nos tópicos anteriores, uma *Smart Grid* consiste num amplo gerenciamento e monitoramento dos dados provenientes dos medidores, sensores e atuadores inteligentes. Um dos mais complexos desafios, é a comunicação entre os diferentes periféricos que estão conectados à rede, e aos centros de comando. Com a nova estrutura da rede, os dados serão enviados em tempo real, o que ocasionará um alto fluxo de dados, fazendo-se necessário uma tecnologia capaz de garantir que toda a operação de medição, monitoramento e atuação sejam seguras e com alta taxa de transmissão. Algo que pode revolucionar não só as Redes Elétricas Inteligentes, mas todo o mundo das telecomunicações, é a chamada quinta geração de comunicação sem fio, em outras palavras, tecnologia 5G (DRAGICEVIC et al, 2019).

A gigante das telecomunicações, a Huawei, se uniu a China Telecom Nanjing e a SGCC Nanjing, com o propósito de realizar testes de campo em terminais elétricos incorporados com 5G (GSMA, 2020). Ademais, os testes foram feitos na Drum Tower Square e no distrito Lishui, comandados pela China Telecom Nanjing, a empresa executou testes locais internos e externos, bloqueios de invasores e testes remotos. Os resultados foram muito promissores, a latência foi de 35ms de ponta a ponta, nos processos de servidor de energia, processamento de controle de carga e transmissão de dados (GSMA, 2020).

Portanto, incorporar redes 5G nas REIs, permitirá alcançar, de forma antecipada, às crescentes solicitações por redes elétricas mais conectadas e seguras. De acordo com relatórios recentes, ao atribuir múltiplos dispositivos interconectados à rede elétrica, as redes 5G pavimentam o caminho de modo que esses dispositivos conectados sejam integrados de forma mais rápida (HUANG & WANG, 2015). Na figura (6) a seguir, podemos verificar alguns benefícios da *Smart Grid* baseada em 5G.

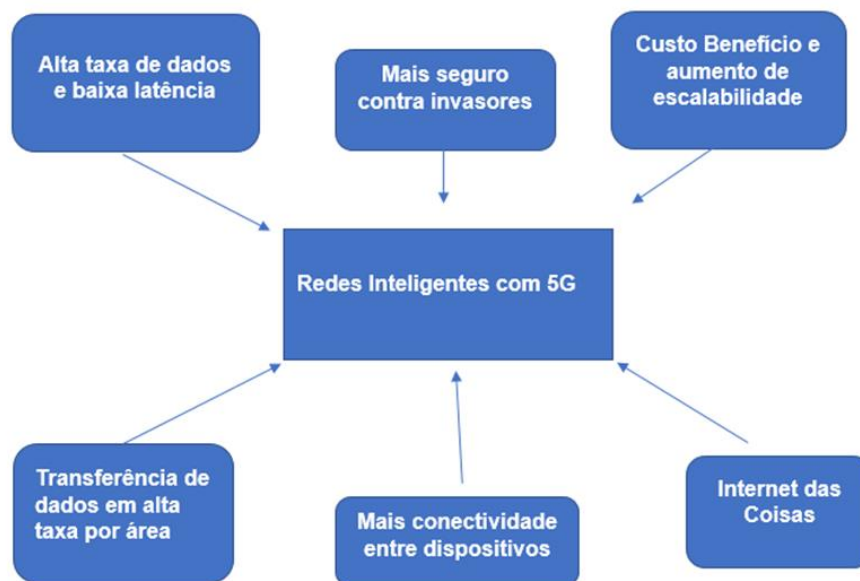


Figura 6 - Vantagens da Tecnologia 5G aplicados à Smart Grid

Fonte: Adaptado de (DRAGICEVIC et al, 2019).

2.3.2 Internet das Coisas (IoT)

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), assumiu a tarefa de revisar as definições criadas por várias organizações e indivíduos, e criou uma definição de IoT (IEEE, 2015): “Uma IoT é uma rede que conecta “coisas” identificáveis de maneira única à Internet. As “coisas” têm a capacidade de detecção/atuação e potencial programação. Através da exploração de uma única identificação e detecção, as informações sobre a “coisa” podem ser coletadas e o estado da “coisa” pode ser mudada de qualquer lugar, por qualquer “coisa”, a qualquer hora.”

Por sua vez, o Instituto McKinsey define Internet das coisas como (McKinsey&Company, 2015): “Definimos a Internet das coisas como sensores e atuadores conectados por redes para sistemas de computação. Esses sistemas podem monitorar ou gerenciar a saúde e as ações de objetos e máquinas conectadas. Sensores conectados também podem monitorar o mundo natural, pessoas e animais.”

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things (IoT)*, tem se tornado uma realidade cada vez mais próxima devido à chegada do 5G. Embora a *IoT* seja vista como um caminho a ser seguido na realização de uma *Smart Grid*, não há solução padronizada de fato quando se trata de sua implementação. Isso ocorre devido à complexidade e os diferentes componentes e finalidades que um sistema com *Smart Grid* demanda. Além disso, a própria *IoT* ainda não atingiu sua maturidade (TANYINGYONG et al, 2016).

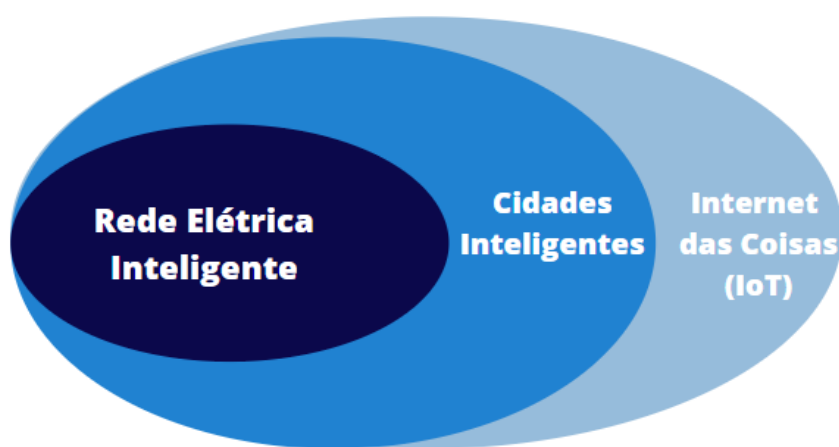


Figura 7 - Das Rede Elétrica Inteligente à Internet das Coisas

Fonte: Adaptado de (BNDES, 2013).

De acordo com Ramamurthy e Jain, a Internet das Coisas tem a capacidade de transformar significativamente o setor industrial e elétrico. Paralelamente, a General Electric (GE) prevê que a aplicação da IoT no setor elétrico, representará globalmente 1,3 trilhão de Dólares até 2025 (RAMAMURTHY & JAIN, 2017). Isso só será possível, devido ao avanço e introdução de dispositivos inteligentes, sistemas analíticos avançados, computação em nuvem, *dashboards* de supervisão e tomadas de decisão, todos interconectados baseados em IoT.

Dessa forma, os benefícios de uma Rede Inteligente com a presença de sistemas IoT podem ser apresentados a seguir (RAMAMURTHY & JAIN, 2017):

- Procedimento de geração pode ser flexibilizado pela IoT, por consequência a incorporação de sensores e atuadores inteligentes interconectados, viabilizando a operação de Geração Distribuída de modo mais seguro. Essa flexibilidade é de suma importância para integrar maior quantidade de energia renovável ao sistema.
- Dispositivos inteligentes baseados em IoT, com estruturas analíticas avançadas, podem prever com precisão a geração solar e eólica, o que permitirá aos geradores convencionais tempo suficiente para se adaptarem à curva de demanda, pressupondo Gerações Distribuídas adicionadas ao sistema.
- Avanços nos dispositivos de medição de energia, relacionados diretamente às tecnologias da IoT, permitem automatizar as respostas à demanda, bem como processos de cobrança, ligação e desligamento de consumidores ou pontos de consumo, de tal forma que é possível ajustar a curva de carga praticamente em tempo real.
- IoT permitirá uma infraestrutura de medição avançada com resposta automatizada à demanda, possibilitando às concessionárias quantificar com maior precisão a demanda local, como resultado, minimizar o uso de plantas altamente poluentes, e maximizar a penetração das energias renováveis.
- Falhas na rede elétrica poderão ser verificadas em tempo real a partir dos dispositivos IoT, rearranjando a rede em novas malhas, reparando falhas e reorganizando as áreas geográficas de geração e demanda.

2.3.3 Medidores Inteligentes

O medidor eletrônico, conhecido também como medidor inteligente, é considerado uma das principais tecnologias para a viabilização da implantação das REIs. Ao contrário dos medidores convencionais, no qual as leituras de medição para contabilizar a utilização dentro de um período é feito manualmente, nos medidores inteligentes esta medição é realizada em tempo real de forma remota.



Figura 8 - Medidor Eletrônico

Fonte: (WEG, 2020).

Conforme Ekanayake, os medidores inteligentes possuem comunicação bidirecional, isto é, permitem o fornecimento de dados de consumo de energia, disponibilizam informações de preço, tarifas dinâmicas, além de facilitar o controle automático de equipamentos elétricos (EKANAYAKE et al. J. , 2012). Com a exibição de consumo em tempo real, essa tecnologia será um meio incentivador ao consumo mais consciente de energia elétrica, podendo até mesmo alterar os padrões de demandas dos usuários. (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012).

A tabela (5) resume as principais vantagens em curto e longo prazo da implementação da medição inteligente.

	Curto Prazo	Longo Prazo
Empresas de Geração/Distribuição de energia elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de medição mais baixos. Leituras com maior precisão, agilidade e com maior frequência. - Redução das perdas comerciais devido à detecção mais fácil de fraude e roubo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suporte em tempo real. - Melhor planejamento de manutenção da rede de geração.
Consumidor	<ul style="list-style-type: none"> - Maior controle do consumo, possibilitando economia de energia. - Faturamentos mais precisos 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade na implantação de automação na área residencial enquanto minimiza os custos de energia.
Todos beneficiam	<ul style="list-style-type: none"> - Melhor atendimento ao cliente e esquemas de preços flexíveis. - Facilidade na integração de Geração Distribuída. 	<ul style="list-style-type: none"> - Energia mais confiável, reduzindo as reclamações dos clientes. - Facilidade na adoção de veículos elétricos e Geração Distribuída, minimizando o pico de demanda.

Tabela 5 - Benefícios da medição inteligente

Fonte: Adaptada de (EKANAYAKE et al. J. , 2012).

Em 2012, a ANEEL regulamentou os requisitos básicos para os sistemas de medição inteligente residenciais, dentre os objetivos desta decisão, destaca-se a possibilidade da difusão da geração distribuída no país (ANEEL, 2012). Na figura (9), podemos visualizar as projeções realizadas pela ABRADDEE no PNRI, considerando o cenário conservador, foi estimado que até a próxima década metade das unidades consumidoras terão medidores inteligentes instalados (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012).

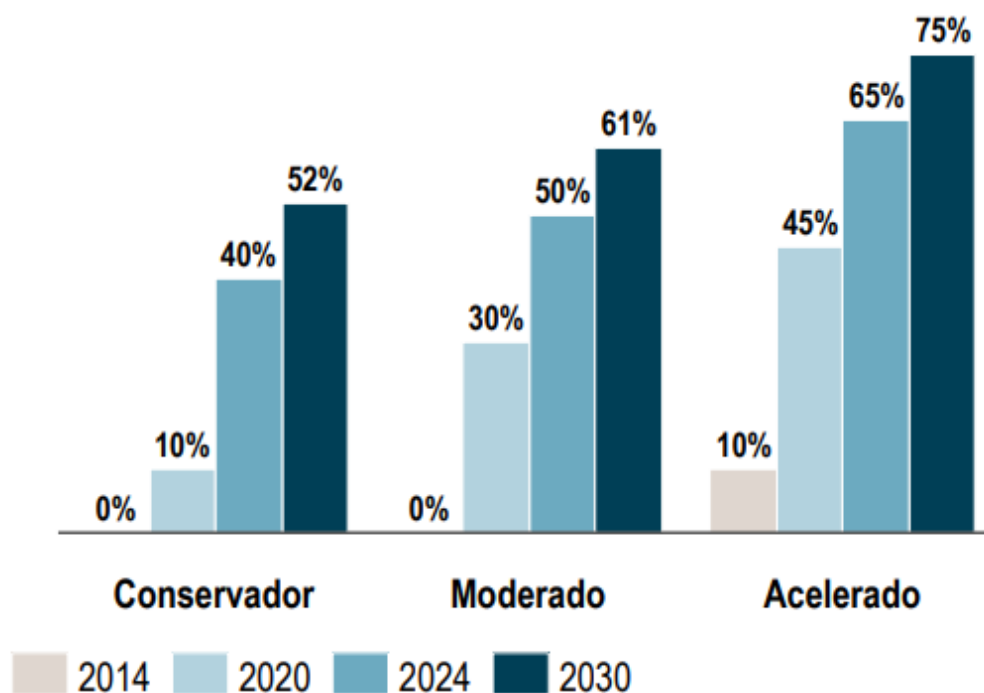


Figura 9 - Projeção de medidores inteligentes instalados nas unidades consumidoras do país.

Fonte: CPFL; ANEEL; Roland Berger Strategy Consultants.

Comparado as tecnologias anteriores de medição, o MI destaca-se por proporcionar maior flexibilização comparado aos modelos anteriores, de forma a permitir um consumidor mais ativo e empoderado. Nos medidores já instalados, é perceptível a evolução no combate as perdas técnicas, perdas comerciais e na redução da inadimplência (AES SUL, 2009). Este benefício é permissível graças as tecnologias de informação (TI) embarcadas no equipamento, capazes de realizar a extração e o envio dos dados de forma segura aos Centro Medição¹. A figura (10) demonstra a evolução na infraestrutura de medição.

¹ O Centro de Medição é uma estrutura lógica e física que tem como objetivo supervisionar, tratar e disponibilizar os dados e informações referentes ao consumo. Pode ser uma instalação centralizada ou descentralizada, com a finalidade de gerenciar os eventos que ocorrem no campo (defeitos nos medidores e falhas de comunicação) (KAGAN et al, 2013).

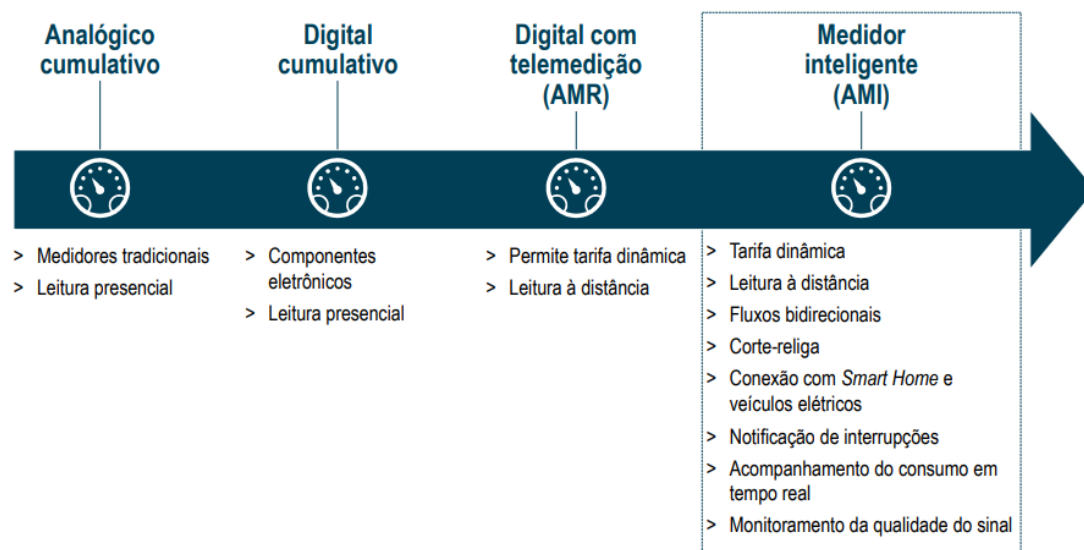


Figura 10 - Evolução da Medição

Fonte: CPFL; ANEEL; Roland Berger Strategy Consultants.

Conforme relatório divulgado pela *MarketandMarket*, a projeção para o mercado mundial de Medidores Inteligentes é um crescimento estimado da receita de \$20,7 bilhões em 2020 para \$ 28,6 bilhões em 2025 e com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,7%. Este feito é atribuído ao incentivo do governo e às políticas públicas de suporte para instalação de medidores nos setores de comércio, indústria e residência (Markets and Markets, 2020). A seguir, podemos visualizar os principais fabricantes de medidores inteligentes no mundo:

- Schneider Electric (Alemanha);
- Landis+Gyr (Suíça);
- Itron (EUA);
- Siemens (Alemanha);
- Wasion Group (China);
- Badger Meter (EUA);
- Honeywell International (EUA);
- Larsen & Toubro (Índia);
- Kamstrup (Dinamarca).

2.3.4 Chaves Telecomandadas

O uso de chaves de operação seccionadoras controladas por telecomando ou via programação são denominadas como Chaves Telecomandadas (BASSAI, 2016). Como forma de otimizar o escopo e o tempo de interrupções de energia elétrica, e consequentemente aumentar a confiabilidade e a qualidade do sistema, o uso da tecnologia de comunicação atrelado à automação estão sendo cada vez mais empregados. A figura (11) apresenta um modelo de Chave Telecomandada da empresa S&C *Electric Company*.



Figura 11 - Chave Telecomandada Scada-Mate®

Fonte: (S&C ELECTRIC COMPANY, 2013).

2.3.5 Segurança Cibernética

Em consequência à digitalização crescente do sistema elétrico, as preocupações quanto a segurança cibernética tem se mostrado um verdadeiro desafio. Com foco na proteção do fluxo de dados, informações dos consumidores e no fornecimento de energia, essas novas tecnologias incorporadas à rede criam riscos

significativos, em virtude da grande exposição à ataques *hackers*. Portanto, como condições prioritárias de segurança para uma rede elétrica inteligente, é altamente recomendado que em todos os componentes haja um amplo direcionamento para padrões, normas e protocolos relacionados a base de segurança de informação.

Por essa razão, há diversas pesquisas e esforços para garantir a segurança em sistemas de *Smart Grid* baseados em *Internet of Things (IoT)*, visto que, essas ameaças podem levar a déficits de segurança nacional, interrupção da ordem pública, perda de vidas e danos econômicos (GUNDUZ & DAS, 2020). Como citado por Kagan, algumas normas e protocolos de segurança cibernética podem ser utilizados na implantação e desenvolvimento das REIs, são elas (KAGAN et al, 2013):

- NIST 7628 (*Guidelines for Smart Grid Cyber Security*): Determina requisitos específicos de segurança para uma rede elétrica inteligente;
- NERC-CIP (*North American Electric Reliability Corporation – Critical Infrastructure Protection*): Oferece um *framework* de segurança cibernética para localização, identificação e proteção de recursos críticos que suportam a operação em um sistema elétrico;
- OWASP (*Open Web Application Security Project*): Associa os melhores meios no desenvolvimento altamente seguro em aplicações na *WEB*;
- ISO 27000: Padrões, normas e códigos de boas práticas e manutenção da segurança da informação. De acordo com a ISO, uma organização que detém certificação em segurança, demonstra aos clientes a garantia de confidencialidade e confiabilidade plena dos dados.

2.3.6 Geração Distribuída

Com intuito de promover as instalações de geração distribuída no país, em 2012 a ANEEL aprovou a Resolução Normativa 482/2012. Conseqüentemente, foi permitido ao consumidor brasileiro a autogeração de energia elétrica oriundas de fontes renováveis, bem como injetar o excedente de energia na rede elétrica da distribuidora local (ANEEL -d, 2018).

Assim como os medidores inteligentes, a geração distribuída também é considerada como um dos pilares centrais no âmbito das REIs, pois são gerações próximas aos centros de carga de baixa ou média tensão, tornando as redes convencionais, lineares e passivas, em redes altamente conectadas, ativas e inteligentes. Conforme a regulação se moderniza, a geração distribuída será largamente ampliada, o que modifica completamente a lógica vigente, segundo a qual as fontes de energia estão concentradas nas concessionárias (TOLEDO et al, 2018). As instalações de GD podem ser classificadas de acordo com o seu porte (ANEEL-c, 2016):

- Microgerações: Potência instalada menor ou igual a 75kW;
- Minigerções: Potência Instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW;

A inserção de grandes usinas de Geração Distribuída no SIN não será algo trivial, visto que acarretará dificuldades na interligação dessas fontes intermitentes na rede, devido a sazonalidade do período de geração. Há, portanto, a necessidade de alta tecnologia de eletrônica de potência, automação e supervisão, para manter o sistema em equilíbrio devido as altas variações na oferta de energia. Modelos computacionais utilizados na comercialização de energia elétrica também deverão ser revistos, levando-se em conta essa geração descentralizada (TOLEDO et al, 2018).

Contudo, essa dificuldade é compensada com os inúmeros benefícios advindos desta modalidade de geração. Entre eles, podemos destacar: baixo impacto ambiental, postergação dos investimentos em expansão da rede, diminuição do carregamento do sistema, minimização das perdas, diversificação da matriz

energética e melhora na qualidade do serviço de energia (ANEEL -d, 2018) (KAGAN et al, 2013). As áreas de transmissão e distribuição terão impactos reduzidos devido a esse novo arranjo, pois essas novas redes poderão ser amparadas por sistemas de *Self-Healing*, isto é: Desligamento de parte do sistema, isolamento da falha, limitação das perdas de energia do trecho danificado e manutenção das cargas prioritárias. Em outros termos, serão criadas *microgrids* (EKANAYAKE et al. J. , 2012) (TOLEDO et al, 2018).

No âmbito nacional, podemos destacar o nosso grande potencial para alavancagem das gerações distribuídas, visto que o país se destaca como um dos mais promissores e competitivos mercados para fontes renováveis (ABDI, 2017). A adoção da GD vai muito além das preocupações técnicas, pois esta pode exercer um importante papel social no país, caso haja adoção de políticas de incentivo a essa nova modalidade de geração. Segundo a Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD), a GD pode levar eletricidade a aproximadamente 2 milhões de brasileiros, além de gerar mais de 70 mil empregos de forma qualificada no Brasil até 2020 (ABGD, 2020). Podemos visualizar na figura (12) a projeção da capacidade instalada de mini e microgeração distribuída no Brasil.

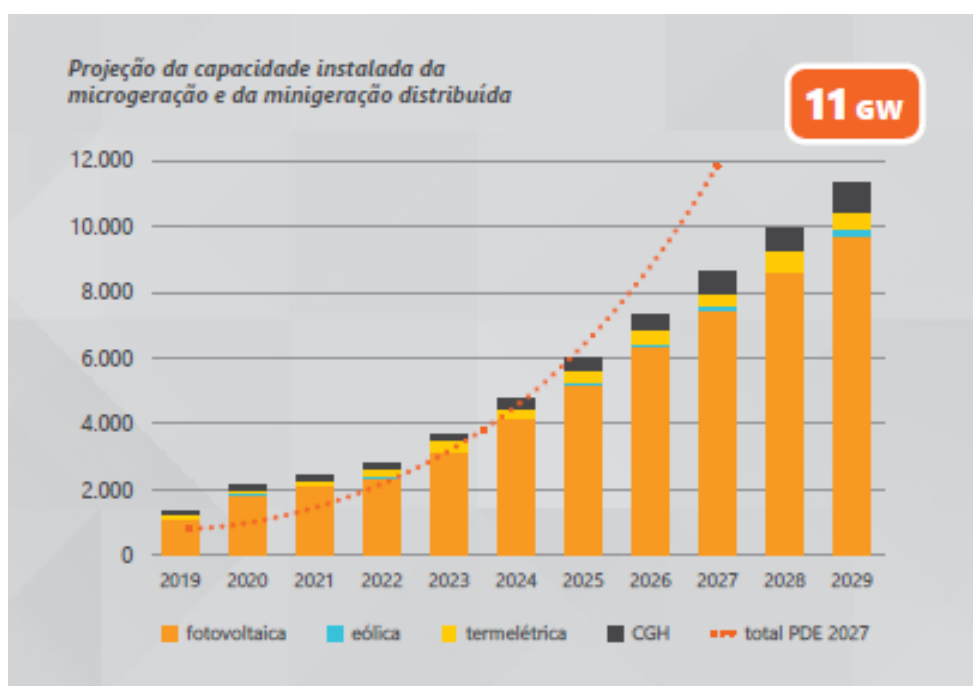


Figura 12 - Projeção Micro e Minigeração Distribuída no Brasil

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2019).

2.3.6.1 Microgrids

As *microgrids*, são pequenas composições de geração, distribuição e consumo que formam um arranjo da rede. Este pequeno arranjo viabiliza inúmeras manobras operativas, dentre elas: operação em ilhamento, despacho localizado e operações de redundância promovendo a manutenção de cargas prioritárias (EKANAYAKE et al. J. , 2012). Por conseguinte, as microgrids representam uma forma mais eficiente, segura e gerenciável para a conexão de geradores de pequeno e médio porte aos sistemas atuais (FALCÃO, 2009). Esse tipo de sistema é atendido por instalações de média e baixa tensão que abrange um certo número de consumidores, possibilitando, em alguns casos, abrigar instalações de Geração Distribuída.



Figura 13 – Microgrid

Fonte: Adaptado de (*The Climate Center*, 2019)

Ao observarmos um cenário de Rede Elétrica Inteligente, as *microgrids* com geração distribuída, conectadas aos seus grupos de carga, são vistos como um subsistema elétrico independente (FALCÃO, 2009). Em caso de distúrbios na rede, uma REI pode desacoplar-se da rede principal, operando desta maneira em ilha, mantendo totalmente ou parcialmente suas cargas. Para alcançar tal finalidade, o sistema deverá ser provido de técnicas de supervisão, controle e automação, capazes de realizar as alterações da configuração sem causar grandes distúrbios à rede e, conseqüentemente, aos consumidores durante o momento da manobra.

3 ESTUDO DE CENÁRIO

Este capítulo apresentará um estudo de cenário hipotético baseado em algumas subestações existentes nas cidades de Pirai, Rio de Janeiro e Volta Redonda, representados na simulação como cidades A, B e C respectivamente. Para melhor compreensão e entendimento dos benefícios de possuir uma Rede Elétrica Inteligente, utilizaremos o software *PowerWorld Simulator* para reproduzir um Sistema Elétrico de Potência (SEP) com *Self-Healing*. Em um contexto de sistema de potência, o processo de *Self-Healing* engloba as seguintes áreas: rápida identificação de itens críticos; mitigação de efeitos adversos; isolamento da falha, e por fim, recuperação rápida do sistema para um estado estável. A operação de restauração envolve uma ampla manipulação de chaves e disjuntores, alterando a configuração do sistema para a melhor condição possível e manutenção de cargas pré-determinadas (SUJIL et al, 2013).

Na simulação, foi realizada uma análise de contingência considerando uma falha na subestação principal. Após a falha, será iniciada uma manobra operativa de ilhamento, promovendo a manutenção de cargas prioritárias. A análise de contingência é amplamente utilizada no gerenciamento do sistema em níveis de Transmissão, entretanto, está sendo estendido ao sistema de Distribuição com o desenvolvimento das REIs. Para um conjunto de possíveis falhas, a ferramenta de análise de contingências informa a gravidade classificada de todos os eventos, apresentando ações corretivas. Estas ações podem ser mudanças de configuração, topologia, condições de carregamento e disponibilidade de controle (EKANAYAKE et al. J. , 2012).

3.10 software

Com o objetivo de apresentar as vantagens de se possuir uma Rede Elétrica Inteligente, a ferramenta computacional utilizada para a simulação foi o *PowerWorld Simulator*. Criado pela *PowerWorld Corporation*, o software é uma ferramenta interativa utilizada para modelar e simular operações em um Sistema Elétrico de

Potência (SEP), com a possibilidade de elaboração de diversos cenários para análise. Os cálculos de fluxos de potências realizados pelo *software* podem ser efetuados pelos métodos de *Newton-Raphson* ou *Gauss-Seidel*. A figura (14) apresenta a página inicial do software.

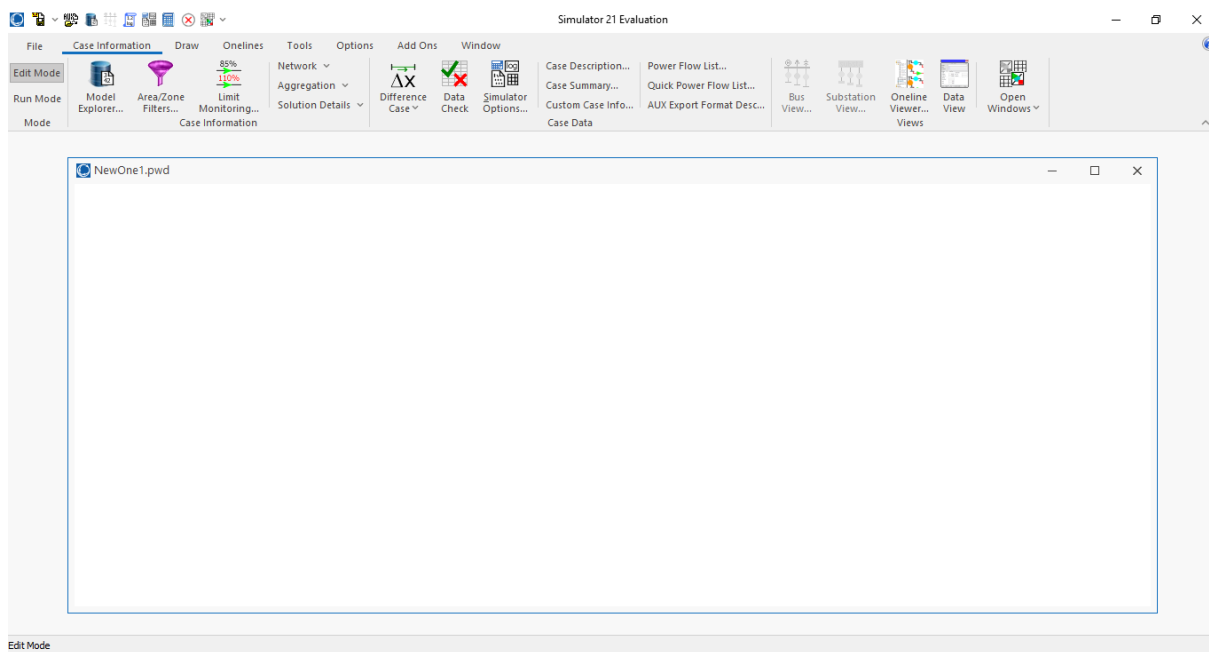


Figura 14 - Página inicial do software *PowerWorld Simulator*

Fonte: Autores.

3.2 Arranjo do SEP

O arranjo do Sistema Elétrico de Potência (SEP) analisado é composto por 10 barras no qual estão divididos entre as três cidades (A, B e C), sendo a hidrelétrica a geradora principal de energia. O estudo de cenário será realizado na Cidade A (Piraí), com o sistema de distribuição em anel, possui a subestação principal de 138/13,8kV e duas Gerações Distribuídas, uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica) que servirá de referência de potencial, e uma usina de Minigeração solar, ambas de 5MW. Na figura (15) a seguir, podemos visualizar como o SEP está disposto no simulador.

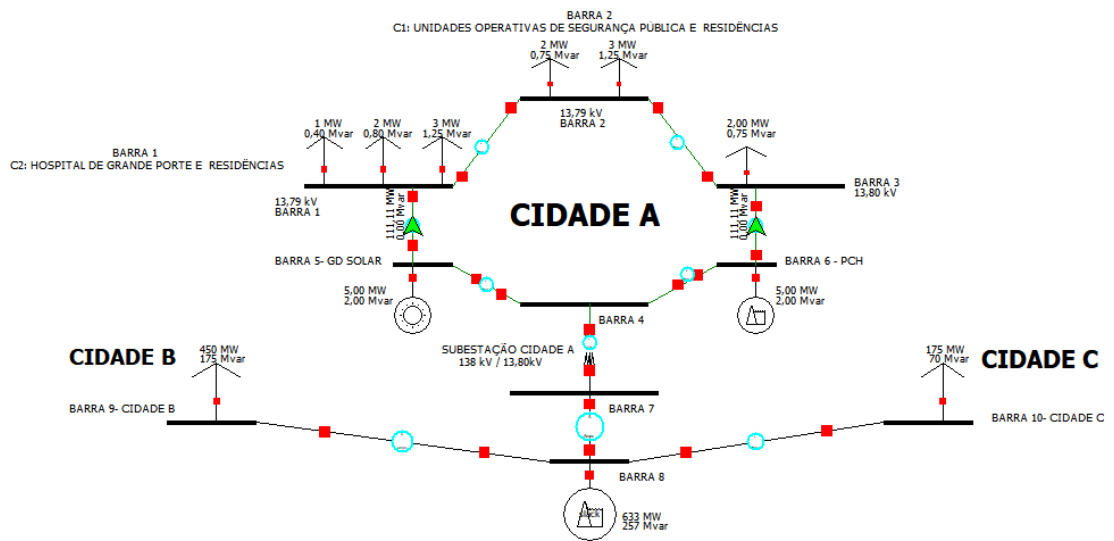


Figura 15 - Arranjo do SEP no software PowerWorld Simulator

Fonte: Autores.

Em vista disso, a figura (16) esclarece cada ícone utilizado na elaboração do SEP no software:

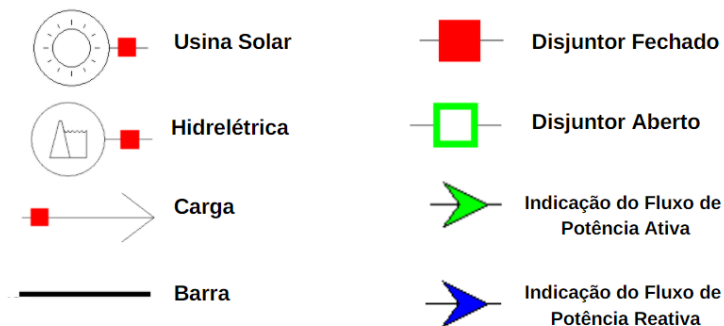


Figura 16 - Legenda dos ícones do PowerWorld Simulator

Fonte: Autores.

O SEP da Cidade A é composto por três barras e suas respectivas cargas estão arranjadas da seguinte forma:

Barra 1:

- Carga 1.1 (C1): Residências e um centro de eventos (3MW);

- Carga 1.2 (C2): Hospital de grande porte e residências (2 MW);
- Carga 1.3 (C3): Unidades consumidoras residenciais e comerciais (1MW).

Barra 2:

- Carga 2.1 (C1): Unidades operativas de segurança pública e residências (3MW);
- Carga 2.2 (C2): Unidades consumidoras residenciais e comerciais (2MW).

Barra 3:

- Carga 3.1 (C1): Unidades consumidoras residenciais e comerciais (2MW).

3.3 Simulação

Ao considerarmos a seção IV do artigo 11 da Resolução Normativa 414/2010 ANEEL, que define os serviços ou atividades essenciais cuja interrupção coloque em perigo iminente a sobrevivência, a saúde ou a segurança da população (ANEEL, 2010), definimos as seguintes cargas como prioritárias para a nossa simulação:

- **Barra 1:** C1.2 (C2): Hospital de grande porte e residências (2MW);
- **Barra 2:** C2.1 (C1): Unidades operativas de segurança pública e residências (3MW).

Após o término da elaboração do SEP no *PowerWorld Simulator*, com o intuito de apresentarmos as vantagens de se possuir uma rede elétrica inteligente com *Self-healing* e Geração Distribuída, realizamos a análise de contingência estabelecendo

as etapas para execução da operação de ilhamento. Na figura (17) visualizaremos a ordem de execução do processo de *Self-healing* no *software*.

Contingency Label	Actions - PW File Format	Status	Pers	Time Delay	Comment
1 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	BRANCH 7 4 1 OPEN	CHECK	NO	0,001000	INICIAR PROCESSO DE ILHAMENTO SELF-HEALING: ABRIR TRANSFORMADOR DA SUBESTAÇÃO
2 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	LOAD 1 1 OPEN	CHECK	NO	0,000000	ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 1
3 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	LOAD 1 3 OPEN	CHECK	NO	0,001200	ABRIR DISJUNTOR CARGA 3 - BARRA 1
4 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	LOAD 2 2 OPEN	CHECK	NO	0,001200	ABRIR DISJUNTOR CARGA 2 - BARRA 2
5 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	LOAD 3 1 OPEN	CHECK	NO	0,001200	ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 3
6 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	GEN 5 SET_P_TO 2,5 MW	CHECK	NO	0,001500	SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA ATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS
7 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	GEN 5 SET_Q_TO 1 MVR	CHECK	NO	0,001500	SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS
8 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	GEN 6 SET_P_TO 2,5 MW	CHECK	NO	0,002000	SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA ATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS
9 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	GEN 6 SET_Q_TO 1,05 MVR	CHECK	NO	0,001500	SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS
10 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	SOLVEPOWERFLOW	ALWAYS	NO	0,020000	VERIFICAR FLUXO DE POTÊNCIA DO SEP

Figura 17 - Elementos e ações estabelecidas para a Análise de Contingência da Cidade A

Fonte: Autores.

Em suma, o processo de *self-healing* correspondente à contingência “Falha na Subestação da Cidade A” ocorrerá da seguinte forma: Será desconectado o transformador da subestação principal (Ponto de conexão entre as barras 7 e 4); Os disjuntores das cargas C1.1, C1.3, C2.2 e C3.1 serão abertos, isolando-as da micro-grid criada; As potências ativas e reativas das gerações distribuídas (PCH e Usina Solar) terão seus valores de *setpoint* ajustados em função da demanda das cargas prioritárias; O software permanecerá realizando a verificação do fluxo de potência, utilizando o método Newton-Raphson do sistema em regime permanente.

3.4 Resultados obtidos

Finalizado a simulação da análise de contingências, as ações ocorridas no SEP são apresentadas na figura a seguir:

Contingency	Status	What Occurred
1 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	OPEN Transformer BARRA 7_138.0 (7) TO BARRA 4_13.8 (4) CKT 1 CHECK INICIAR PROCESSO DE ILHAMENTO SELF-HEALING: ABRIR TRANSFORMADOR DA SUBESTAÇÃO Opened flow of 3.25 MVA ELEMENT
2 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	OPEN Load BARRA 1_13.8 (1) #1 CHECK ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 1 Opened 3.00 MW ELEMENT
3 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	OPEN Load BARRA 1_13.8 (1) #3 CHECK ABRIR DISJUNTOR CARGA 3 - BARRA 1 Opened 1.00 MW ELEMENT
4 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	OPEN Load BARRA 2_13.8 (2) #2 CHECK ABRIR DISJUNTOR CARGA 2 - BARRA 2 Opened 2.00 MW ELEMENT
5 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	OPEN Load BARRA 3_13.8 (3) #1 CHECK ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 3 Opened 2.00 MW ELEMENT
6 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	SET GENERATION AT BUS BARRA 5- GD SOLAR_13.8 (5) TO 2.5 MW CHECK SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA ATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS Bus Output changed from 5.00 to 2.50 MW ELEMENT
7 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	SET GENERATION AT BUS BARRA 5- GD SOLAR_13.8 (5) TO 1 MVR CHECK SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS Bus Output changed from 2.00 to 1.00 Mvar ELEMENT
8 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	SET GENERATION AT BUS BARRA 6- PCH_13.8 (6) TO 2.5 MW CHECK SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA ATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS Bus Output changed from 5.00 to 2.50 MW ELEMENT
9 FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A	CHECK	SET GENERATION AT BUS BARRA 6- PCH_13.8 (6) TO 1.05 MVR CHECK SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS Bus Output changed from 2.00 to 1.05 Mvar ELEMENT

Figura 18 - Ações executadas na Análise de Contingência no software Power Word Simulator

Fonte: Autores.

Em síntese, as ações executadas foram:

- Abertura do Transformador da Subestação (Conexão entre as barras 4 e 7), ocasionando a interrupção do fluxo de potência complexa de 3,25 MVA, injetado pela Hidrelétrica principal;
- Abertura dos disjuntores das cargas não-prioritárias, totalizando 8 MW;
- Alteração das potências (Ativa e Reativa) injetadas por ambas as Gerações Distribuídas para: 2,5 MW e 1 MVar na Usina Fotovoltaica e 2,5MW e 1,05 MVar na PCH.

De forma análoga, o sumário gerado pelo simulador ratifica que a contingência foi solucionada com sucesso. O relatório completo reproduzido pelo software está disponível no Apêndice A.

The screenshot displays the 'Summary' window of the PowerWorld Simulator. The main text area contains the following information:

```

Contingency Analysis Starting at novembro 06, 2020 20:35:00
Simulation: Basecase converged
Solving contingency FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A
Applied:
OPEN Transformer BARRA 7_138,0 (7) TO BARRA 4_13,8 (4) CKT 1 | CHECK | INICIAR PROCESSO DE ILHAMENTO | SELF-HEALING: ABRIR TRANSFORMADOR DA SUBESTAÇÃO | Opened flow of 3,25 MVA | ELEMENT
OPEN Load BARRA 1_13,8 (1) #1 | CHECK | ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 1 | Opened 3,00 MW | ELEMENT
OPEN Load BARRA 1_13,8 (1) #3 | CHECK | ABRIR DISJUNTOR CARGA 3 - BARRA 1 | Opened 1,00 MW | ELEMENT
OPEN Load BARRA 2_13,8 (2) #2 | CHECK | ABRIR DISJUNTOR CARGA 2 - BARRA 2 | Opened 2,00 MW | ELEMENT
OPEN Load BARRA 3_13,8 (3) #1 | CHECK | ABRIR DISJUNTOR CARGA 1 - BARRA 3 | Opened 2,00 MW | ELEMENT
SET GENERATION AT BUS BARRA 5 - GD SOLAR_13,8 (5) TO 2,5 MW | CHECK | SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA ATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS | Bus Output changed from 5,00 to 2,50 MW |
SET GENERATION AT BUS BARRA 5 - GD SOLAR_13,8 (5) TO 1 MVR | CHECK | SET GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS | Bus Output changed from 2,00 to 1,00 Mvar
SET GENERATION AT BUS BARRA 6 - PCH_13,8 (6) TO 2,5 MW | CHECK | SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS | Bus Output changed from 5,00 to 2,50 MW | ELEMENT
SET GENERATION AT BUS BARRA 6 - PCH_13,8 (6) TO 1,05 MVR | CHECK | SET PCH PARA NOVA POTÊNCIA REATIVA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS | Bus Output changed from 2,00 to 1,05 Mvar | ELEME
Contingency FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A successfully solved.
Contingency Analysis finished at novembro 06, 2020 20:35:00
  
```

At the bottom of the window, there is a summary table:

Total # of contingencies	1	Start Time	06/11/2020 20:35:00
# Processed	1	End Time	06/11/2020 20:35:00
# Unsolvable	0	Total Run Time	0,29 Seconds
# Violations	0	Avg. Time per Ctg	0,287 Seconds

Figura 19 - Sumário das ações realizadas na Análise de Contingência no PowerWorld Simulator

Fonte: Autores.

Por fim, na figura (20) é apresentado o arranjo final do SEP após a falha da subestação principal. É perceptível que somente os disjuntores das cargas prioritárias permaneceram fechados, conforme proposto pela operação de ilhamento.

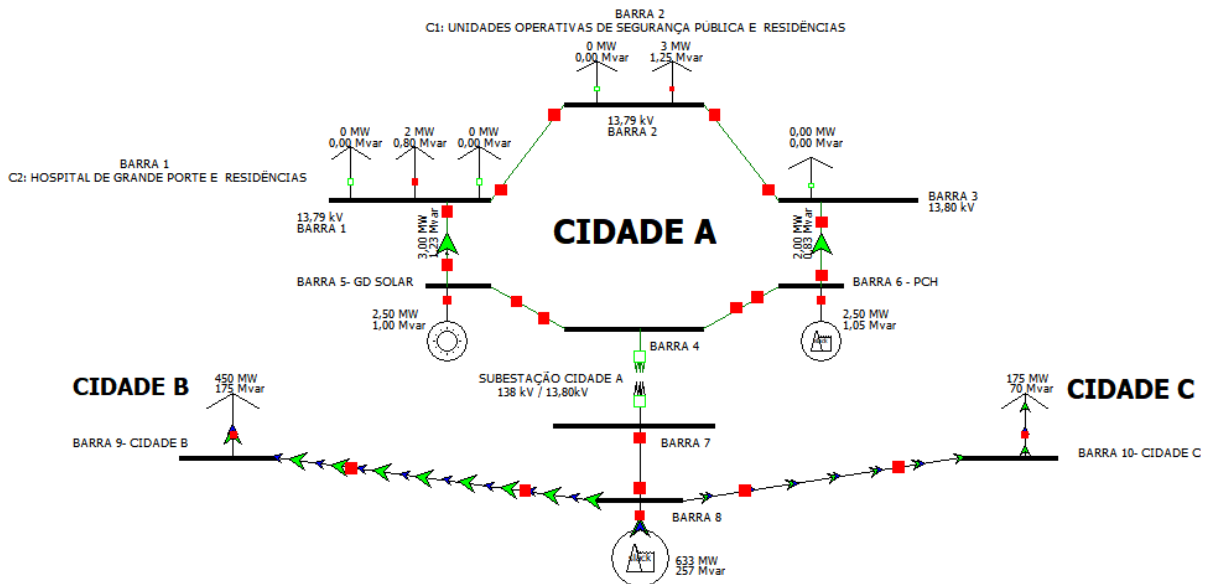


Figura 20 SEP após o Self-Healing com a criação da microgrid na Cidade A

Fonte: Autores.

3.5 Considerações finais do capítulo

Portanto, é válido destacar, que em função da inserção dos dispositivos IoT e Redes 5G, as possibilidades operacionais em uma *Smart Grid* serão inúmeras. Estas ações, com incorporação no setor elétrico através do avanço da tecnologia da informação (TI), terão o propósito de identificar padrões dos dados monitorados e realizar as ações de forma independente e inteligente, sem a necessidade da intervenção humana. Além disso, poderão elevar ainda mais a confiabilidade, qualidade da energia, robustez, velocidade de resposta e segurança de todo o sistema a níveis superiores aos vigentes.

4 CONCLUSÃO

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo apresentar os benefícios de uma Rede Elétrica Inteligente, bem como seu conceito, panoramas e tecnologias. Com os resultados obtidos na simulação realizada por meio do estudo de cenário, foi possível evidenciar as vantagens de se obter uma *Smart Grid*. Portanto, as Redes Elétricas Inteligentes caracterizam-se, sobretudo, pela possibilidade de criar composições mais eficazes no ponto de vista tanto do uso quanto do consumo e uma melhor gestão de ativos no que tange a eficiência energética.

A experiência brasileira no âmbito das Redes Inteligentes, foi arduamente debatida pelos mais renomados estudos de pesquisas, universidades, órgãos governamentais e empresas do setor, entretanto, por uma série de adversidades, desde crises políticas e econômicas, acarretaram a inviabilização da continuidade do processo migratório para uma rede elétrica inteligente em larga escala. É de conhecimento público que foram realizados diversos projetos pilotos em várias cidades brasileiras, com procedimentos distintos entre eles, mas todos com um único ideal: Tornar o setor elétrico brasileiro mais eficiente, confiável, inteligente, adaptável e seguro. No entanto, em consequência dos avanços não articulados e manifestações isoladas, o atual estado da arte destas experiências não conseguiu pavimentar um caminho para um modelo definitivo.

Por fim, nossas leis e regulações, como apresentado alguns exemplos anteriormente, possuem pouco solo fértil para uma nova guinada no setor elétrico, apresentando-se como verdadeiras barreiras para a tão idealizada Rede Elétrica Inteligente. Desse modo, uma alternativa para o cenário atual, seria utilizar como referência, políticas governamentais que foram visionárias, proativas e competentes, que culminaram na construção de um dos sistemas elétricos mais complexos e de alta performance do mundo, o Sistema Interligado Nacional (SIN).

4.1 Proposta para trabalhos futuros

- Realizar um estudo no âmbito das Redes Inteligentes com a influência da comunicação da quinta geração (tecnologia 5G);
- Elaborar uma simulação para analisar a qualidade da energia com a presença da Geração Distribuída;
- Análise do fluxo de potência desequilibrado para Smart Grids sobre a ótica de controle primário e secundário;
- Realizar um estudo técnico sobre os benefícios de uma Rede Elétrica Inteligente baseada na Internet das Coisas (IoT).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI. (2017). **MAPEAMENTO DA CADEIA FORNECEDORA DE TIC E DE SEUS PRODUTOS E SERVIÇOS PARA REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES**. Acesso em 22 de Outubro de 2020, disponível em ABDI: <https://docplayer.com.br/77594343-Mapeamento-da-cadeia-fornecedora-de-tic-e-de-seus-produtos-e-servicos-para-redes-eletricas-inteligentes-rei.html>
- ABDI-b. (11 de Junho de 2014). **Mapeamento da Cadeia Fornecedora Nacional de TIC para Redes Elétricas Inteligentes (REI) Contextualização**. Acesso em 22 de Outubro de 2020, disponível em ABDI: <https://silو.tips/download/mapeamento-da-cadeia-fornecedoranacionalde-tic-para-redes-eletricas-inteligentes>
- ABGD. (20 de Maio de 2020). **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA CONCEITOS E CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Acesso em 17/10 de 2020 de 2020, disponível em ABGD: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/ebook-geracao-propria-energia/>
- ABRADEE. (10 de setembro de 2020). **Redes Elétricas Inteligentes Brasil**. Fonte: Redes Elétricas Inteligentes Brasil: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/>
- AES Brasil. (6 de Janeiro de 2016). **Redes Inteligentes: de São Paulo para o mundo**. Fonte: AES Brasil: <http://aesbrasilsustentabilidade.com.br/pt/noticias/item/redes-inteligentes-de-sao-paulo-para-o-mundo>
- AES SUL. (2009). *Consulta Pública nº 015-09 – Medição eletrônica na Baixa Tensão*. Porto Alegre .
- AGÊNCIA SENADO. (03 de Março de 2020). **Novo marco regulatório do setor elétrico é aprovado na Comissão de Infraestrutura**. Acesso em 02 de Novembro de 2020, disponível em SENADO: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/03/03/novo-marco-regulatorio-do-setor-eletrico-e-aprovado-na-comissao-de-infraestrutura>
- ANEEL. (junho de 2010). **Chamado nº 010/2010**. Fonte: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf

ANEEL. (2010). **Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**. Brasília: ANEEL.

ANEEL. (08 de 08 de 2012). **ANEEL regulamenta medidores eletrônicos**. Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5903&id_area=90

ANEEL -d. (15 de 08 de 2018). **ANEEL GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. Acesso em 19/09 de 2020 de 2020, disponível em ANEEL: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>

ANEEL- e. (30 de ABRIL de 2009). **Obter subsídios e informações para implantação da medição eletrônica em baixa tensão**. Acesso em 02 de Novembro de 2020, disponível em ANEEL: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/detalhes_consulta.cfm?IdConsultaPublica=131

ANEEL-b. (15 de JUNHO de 2020). **ANEEL**. Acesso em 08 de 2020 de 2020, disponível em **UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_fonte.asp

ANEEL-c. (15 de Maio de 2016). **Caderno Temático Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de compensação de energia Elétrica**. Acesso em 18/09 de 2020 de 2020, disponível em ANEEL: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>

BASSAI, M. (2016). **APLICAÇÃO DE CHAVE SECCIONADORA (SF6) EM SISTEMAS**. Curitiba. Fonte: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9944/1/CT_COTEL_2016_2_05.pdf

BENICIO et al, M. (2018). **A Virada Digital**. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

BRASIL. (13 de Fevereiro de 1995). **LEI Nº 8.987, DE 13 DE FEVEREIRO DE 1995**. Acesso em 02 de Novembro de 2020, disponível em Planalto: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987compilada.htm

BUCHER, R. (12 de Dezembro de 2017). **Smart grid functionality for the high-voltage transmission grid: On the market readiness of Digital Substation**

2.0 technology. Acesso em 09 de Outubro de 2020, disponível em IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8356487>

Canal Energia. (6 de Novembro de 2017). **Light alcança metade dos dispositivos em seu projeto de Smart Grid.** Acesso em 24 de Outubro de 2020, disponível em Canal Energia: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53040436/light-alcanca-metade-dos-dispositivos-em-seu-projeto-de-smart-grid>

CEMIG. (10 de Abril de 2012). **CEMIG TESTA NOVOS MEDIDORES INTELIGENTES EM SETE LAGOAS (MG).** Acesso em 23 de Outubro de 2020, disponível em CEMIG: [http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/cemig_testa_novos_medidores_inteligentes.aspx#:~:text=Cemig%20testa%20novos%20medidores%20inteligentes%20em%20Sete%20Lagoas%20\(MG\)&text=O%20projeto%20Cidades%20do%20Futuro,julho%2C%20ser%20C3%A3o%20instal](http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/cemig_testa_novos_medidores_inteligentes.aspx#:~:text=Cemig%20testa%20novos%20medidores%20inteligentes%20em%20Sete%20Lagoas%20(MG)&text=O%20projeto%20Cidades%20do%20Futuro,julho%2C%20ser%20C3%A3o%20instal)

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2012). **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional.** Brasília: CGEE.

COPEL. (2013). **PROJETO PARANÁ SMART GRID.** Fonte: COPEL: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/22-08%20Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho%20de%20Consumidores.pdf/\\$FILE/22-08%20Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho%20de%20Consumidores.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/22-08%20Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho%20de%20Consumidores.pdf/$FILE/22-08%20Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho%20de%20Consumidores.pdf)

COPEL. (9 de setembro de 2020). **Copel inicia implantação da Rede Elétrica Inteligente.** Fonte: COPEL Pura energia: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-inicia-implantacao-da-rede-eletrica-inteligente/>

Department of Energy and Climate Change, UK. (19 de Dezembro de 2009). **Smarter Grids: the opportunity.** Acesso em 2020, disponível em UK Web Archive (UKWA) : https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100512190105/http://man270109a.decc.gov.uk/media/viewfile.ashx?filepath=what%20we%20do/uk%20energy%20supply/futureelectricitynetworks/1_20091203163757_e_@@_smartergrid_sopportunity.pdf&filetype=4

DRAGICEVIC et al, T. (4 de Junho de 2019). **Future Generation 5G Wireless Networks for Smart Grid: A Comprehensive Review.** Acesso em 2020, disponível em MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/11/2140>

DRANKA, G. G., & FERREIRA, P. (22 de Outubro de 2019). **Towards a smart grid power system in Brazil: Challenges and opportunities**. Acesso em 14 de Novembro de 2020, disponível em ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421519306202v>

EKANAYAKE et al., J. (2012). **SMART GRID - TECNOLOGY AND APPLICATIONS**. United Kingdom: WILEY.

EKANAYAKE et al., J. (2012). **Smart Grid: Technology and Applications**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. Acesso em 25 de Agosto de 2020

ENEL. (s.d.). **Inovação e Sustentabilidade em Búzios**. Acesso em 24 de Outubro de 2020, disponível em ENEL: https://www.enel.com.br/pt/Sustentabilidade/iniciativas/archive/Cidade_Inteligente_Buzios.html

ENERGY UK. (23 de abril de 2019). **Map to the Future | Energy UK**. Fonte: Energy UK: <https://www.energy-uk.org.uk/media-and-campaigns/press-releases/440-2019/7109-map-to-the-future.html>

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2018). **MATRIZ ENERGÉTICA**. Acesso em 21 de Outubro de 2020, disponível em EPE - Empresa de Pesquisa Energética: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,Brazil%20vem%20de%20usinas%20hidrel%C3%A9tricas.&text=Aprendemos%20com%20o%20gr%C3%A1fico%20que,contr%C3%A1rio%20da%20matriz%20el%C3%A9trica>

EPE. (15 de Setembro de 2018). **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. Acesso em 17 de Outubro de 2020, disponível em epe: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf

ETIP SNET. (10 de julho de 2020). **ETIP SNET R&I ROADMAP 2020 - 2030**. Fonte: ETIP SNET: [https://www.etip-snet.eu/etip-snet-ri-roadmap-2020-2030-update-released./](https://www.etip-snet.eu/etip-snet-ri-roadmap-2020-2030-update-released/)

ETIP SNET VISION 2050. (junho de 2018). Fonte: ETIP SNET: <https://www.etip-snet.eu/etip-snet-vision-2050>

EU BUSINESS IN JAPAN. (30 de julho de 2020). **Smart Grid | EU Business in Japan**.
Fonte: EU Business in Japan:
<https://www.eubusinessinjapan.eu/sectors/energy/smart-grid>

EUA. (01 de 12 de 2007). **Energy Independence and Security Act of 2007**. Acesso em 09 de Novembro de 2020, disponível em Congress:
<https://www.congress.gov/bill/110th-congress/house-bill/6>

European Commission. (6 de Abril de 2006). **Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**. Acesso em 13 de Agosto de 2020, disponível em European Commission:
https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf

FALCÃO, D. (Janeiro de 2009). **Smart Grids e Microredes: o futuro já é presente**. Acesso em 08 de Outubro de 2020 de 2020, disponível em Research Gate:
https://www.researchgate.net/publication/228473062_Smart_Grids_e_Microredes_o_futuro_ja_e_presente

GSMA. (16 de Março de 2020). **Smart Grid 5G Network Slicing**. Acesso em 24 de Outubro de 2020, disponível em GSMA:
<https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/smart-grid-5g-network-slicing/>

GUNDUZ, M. Z., & DAS, R. (14 de Março de 2020). **Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions**. Acesso em 19 de Outubro de 2020, disponível em Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128619311235>

HARVARD BUSINESS SCHOOL. (15 de novembro de 2017). **TEPCO: uma emergência silenciosa de Smart-Grid no Japão (digitalização)**. Fonte: HARVARD BUSINESS SCHOOL DIGITAL INITIATIVE:
<https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/tepcos-a-quiet-emergence-of-smart-grid-in-japan-digitization/>

HAYEK, F. A. (1976). **Direito, legislação e liberdade vol. 02**. Chicago: University of Chicago Press.

HUANG, X., & WANG, S. (2015). **Aggregation Points Planning in Smart Grid Communication System**. IEEE Communications Letters. Fonte:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7118164>

IEEE. (Maio de 2015). **Towards a definition of the Internet of Things (IoT)**. Acesso em 30 de Outubro de 2020, disponível em IEEE: <https://iot.ieee.org/definition.html#:~:text=The%20IEEE%20IoT%20Initiative%20has,composed%20of%20complex%20sub%2Dsystems.>

IEEE Power & Energy Magazine . (2009 de Outubro de 2009). **Change in the Air**. (I. P. Magazine, Ed.) Acesso em 18/09 de 2020 de 2020, disponível em IEEE XPLORE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5233737>

ISGAN. (setembro de 2018). **ISGAN- International Smart Grid Action Network**. Fonte: ISGAN: <https://www.iea-isgan.org/about-us>

ITAIPU BINACIONAL. (19 de junho de 2020). **Geração | ITAIPU BINACIONAL**. Fonte: ITAIPU BINACIONAL: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>

KAGAN et al, N. (2013). **Redes Elétricas inteligentes no Brasil**. Rio de Janeiro: Synergia.

KAGAN, N. (18 de Outubro de 2013). **Smart Grid no Contexto da Geração e Distribuição**. Acesso em 22 de Outubro de 2020, disponível em IEEE: <https://site.ieee.org/bahia/files/2013/10/Palestra-Prof-Nelson-Kagan.pdf>

Markets and Markets. (Março de 2020). **Smart Meters Market**. Acesso em 23 de Outubro de 2020, disponível em Markets and Markets: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-meter-366.html>

McKinsey&Company. (Junho de 2015). **THE INTERNET OF THINGS MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE**. Acesso em 30 de Outubro de 2020, disponível em McKinsey&Company: https://www.mckinsey.com/~/_/media/McKinsey/Industries/Technology%20Media%20and%20Telecommunications/High%20Tech/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/The-Internet-of-things-Mapping-the-value-be

Navigant Research. (2018). **Navigating the Energy Transformation**. Acesso em Janeiro de 2020, disponível em Guidehouse: https://guidehouse.com/~/_/media/www/site/insights/energy/2018/from-smart-to-neural-grid--industry-transformation.pdf

NERY, E. (2018). **A Virada Digital**. Rio de Janeiro: Editora Interciência .

O GLOBO. (21 de Novembro de 2012). **Búzios torna-se primeira cidade inteligente da América Latina.** Fonte: O GLOBO: <https://oglobo.globo.com/economia/buzios-torna-se-primeira-cidade-inteligente-da-america-latina-6787601>

Power Technology. (19 de fevereiro de 2018). **The Resilience Programme: Changing Japan's grid.** Acesso em 03 de Agosto de 2020, disponível em Power Techology: <https://www.power-technology.com/features/resilience-programme-changing-japans-grid/>

PowerWorld Corporation. (08 de Novembro de 2020). **PowerWorld Simulation.** Fonte: PowerWorld Corporation: <https://www.powerworld.com/products/simulator/overview>

RAMAMURTHY, A., & JAIN, P. (Agosto de 2017). **THE INTERNET OF THINGS IN THE POWER SECTOR.** Acesso em 30 de Outubro de 2020, disponível em ADB: <https://www.adb.org/publications/internet-of-things-power-sector-opportunities>

REDES INTELIGENTES BRASIL. (2013). **Projetos Pilotos: Cidades do Futuro (Cemig) - Cidade de Sete Lagoas/MG.** Acesso em 23 de Outubro de 2020, disponível em Redes Inteligentes Brasil: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/cidade-do-futuro.html>

RIVERA et al, R. (2013). **Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid): Oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local.** *Revista do BNDES.*

RODRIGUES et al, Y. R. (2018). **A Virada Digital.** Rio de Janeiro: Interciência.

ROLAND BERGER. (25 de Fevereiro de 2014). **Workshop: Redes Inteligentes.** Fonte: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/estudos/docap5.pdf>

S&C ELECTRIC COMPANY. (2013). **Sistema de Seccionamento Scada-Mate.** Fonte: S&C ELECTRIC COMPANY: <https://www.sandc.com/pt/produtos-e-servicos/produtos/sistemas-de-seccionamento-scada-mate#3be33326-2054-4f5f-b370-1a1d84b04438>

SCHETTINO, S. (15 de Abril de 2013). **Cenários do uso das redes elétricas inteligentes (smart grid): tendências de sua difusão no Brasil.** Acesso em 20 de Novembro de 2020, disponível em UFPB: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5233?locale=pt_BR

Sönnichsen, N. (6 de Janeiro de 2020). **Number of Electric Smart Meters Installations Deployed In the U.S.** Acesso em 25 de Agosto de 2020, disponível em Statista: <https://www.statista.com/statistics/676472/number-of-smart-meter-installations-in-the-united-states/>

SUJIL et al, A. (11 de Abril de 2013). **Centralized multi-agent self-healing power system with super conducting fault current limiter.** Acesso em 05 de Novembro de 2020, disponível em IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6558169>

Suryanarayanan et al, P. F. (01 de Janeiro de 2010). **Grid modernization efforts in the USA and Brazil : some common lessons based on the smart grid initiative.** Fonte: IEEE Xplore: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5590186>

TANYINGYONG et al, V. (2016). **IoT-grid: IoT Communication for Smart DC Grids.** Acesso em 30 de Outubro de 2020, disponível em IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7841917>

TENFEN et al, D. (8 de Novembro de 2011). **Simulador da Automação de Sistemas de Distribuição com a Alocação.** Fonte: Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/274634913_Simulador_da_Automacao_de_Sistemas_de_Distribuicao_com_a_Alocacao_de_Chaves_Telecomandadas/download

The Smart Grid. (20 de Junho de 2020). Fonte: Smart Grid: https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html

TOLEDO et al, C. M. (2018). **A VIRADA DIGITAL.** RIO DE JANEIRO: INTERCIÊNCIA. Acesso em 18 de Setembro de 2020

U.S Department of Energy. (20 de Julho de 2009). **U.S Department of Energy: Smart Grid System Report.** Acesso em 13 de Agosto de 2020, disponível em U.S Department of Energy: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2009%20Smart%20Grid%20System%20Report.pdf>

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. (2020). **Smart Grid | Department of Energy.** Fonte: Energy.gov: <https://www.energy.gov/science-innovation/electric-power/smart-grid>

U.S. Department of Energy. (26 de agosto de 2020). **Recovery Act: Smart Grid Investment Grant Program.** Fonte: SmartGrid.gov: https://www.smartgrid.gov/recovery_act/overview/smart_grid_investment_grant_program.html

US Energy Information Administration. (27 de Fevereiro de 2020). **What is U.S. electricity generation by energy source?** Acesso em 08 de Agosto de 2020, disponível em US Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3>

WEG. (2020). **Medidores Inteligentes de Energia.** Acesso em 18 de Outubro de 2020, disponível em WEG: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-EI%C3%A9tricos/Multimedidores-e-Medidores-Inteligentes/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/p/M>

APÊNDICE A

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*
                                PowerWorld Simulator 21 Educational, Optimal
Power Flow (OPF), Security Constrained OPF (SCOPF), OPF Reserves,
Available Transfer Capability (ATC), PV and QV Curves (PVQV),
Transient Stability, Geomagnetically Induced Current
                                Contingency Analysis

```

```

Name of Base Case:      TCC_GD_FINAL.PWB
Report printed at:     05/11/2020 20:10:12

```

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Case Description and Summary

Description:

No description provided.

Characteristics:

```

Number of buses:          10
Number of gens:           3
Number of loads:          8
Number of switched shunts: 0
Number of AC lines/xfmrs: 11
Number of DC lines:       0
Number of areas:          1
Number of zones:          1

```

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Option Settings

Identify buses by NAME

Thermal Limits

Re-reporting of base case violations

```

Flag base-case branch violations if
    flow has changed by more than 0,0%.
Flag base-case low-voltage violations if
    voltage has changed by more than 0,00pu.
Flag base-case high-voltage violations if
    voltage has changed by more than 0,00pu.
Flag base-case interface violations if
    flow has changed by more than 0,0%.

```

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Monitored Areas

Name	Num	Monitor?	Max KV	Min KV
1	1	Y	9999,00	0,00

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Monitored Zones

Name	Num	Monitor?	Max KV	Min KV
------	-----	----------	--------	--------

```

-----
      1          1          Y          9999,00      0,00
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Base-Case Branch Outages
None.

Base-Case Generator Outages
None.

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Bus Voltage Extremes

Bus Due To Name	Bus Number	Lowest Voltage	Due To Contingency	Highest Voltage
-----------------------	---------------	-------------------	-----------------------	--------------------

```

-----
      BARRA 1 1          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 2 2          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 3 3          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 4 4          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 5- GD SOLAR 5          0,0000      none
0,0000      none
      BARRA 6 - PCH 6          0,0000      none
0,0000      none
      BARRA 7 7          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 8 8          0,0000      none          0,0000
none
      BARRA 10- CIDADE B 10          0,0000      none
0,0000      none
      BARRA 11- CIDADE C 13          0,0000      none
0,0000      none

```

```

*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*

```

Branch Flow Extremes

From Bus	To Bus	Ckt ID	Max % Flow	Due To Contingency
-------------	-----------	-----------	---------------	-----------------------

```

-----
      BARRA 1 BARRA 2 1          0,000      none
      BARRA 5- GD SOLAR BARRA 1 1          0,000      none
      BARRA 3 BARRA 2 1          0,000      none
      BARRA 6 - PCH BARRA 3 1          0,000      none
      BARRA 4 BARRA 5- GD SOLAR 1          0,000      none
      BARRA 4 BARRA 6 - PCH 1          0,000      none
      BARRA 7 BARRA 4 1          0,000      none
      BARRA 6 - PCH BARRA 5- GD SOLAR 1          0,000      none
      BARRA 8 BARRA 7 1          0,000      none
      BARRA 10- CIDADE B BARRA 8 1          0,000      none

```

```

BARRA 8 BARRA 11- CIDADE C 1      0,000      none
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*
Interface Flow Extremes
      No interfaces exist.
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
--*
CONTINGENCY FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A
      ELEMENTS:
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Transformer BARRA 7 TO
BARRA 4 CKT 1 | | CHECK | NO | 0,010000 | INICIAR OPERAÇÃO DE
ILHAMENTO
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load
BARRA 1 #1 | | CHECK | NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1
- BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load
BARRA 1 #3 | | CHECK | NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 3
- BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load
BARRA 2 #1 | | CHECK | NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1
- BARRA 2
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load
BARRA 3 #1 | | CHECK | NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1
- BARRA 3
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; SET GENERATION AT BUS BARRA 5-
GD SOLAR TO 2,5 MW | | CHECK | NO | 0,015000 | SETAR GD SOLAR
PARA NOVA POTÊNCIA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS - 2,5MW
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; SET GENERATION AT BUS BARRA 6 -
PCH TO 2,5 MW | | CHECK | NO | 0,015000 | SETAR PCH PARA NOVA
POTÊNCIA DEMANDADA PELAS CARGAS PRIORITÁRIAS - 2,5MW
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; Solve Power Flow before
proceeding | | CHECK | NO | 0,020000 | PROCESSO DE ILHAMENTO -
CHECK
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 1 #1 | | CHECK
| NO | 0,025000 | VERIFICAR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 1 #3 | | CHECK
| NO | 0,025000 | VERIFICAR DISJUNTOR DA CARGA 3 - BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 2 #1 | | CHECK
| NO | 0,025000 | VERIFICAR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 2
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 3 #1 | | CHECK
| NO | 0,025000 | VERIFICAR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 3
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 1 #1 | | CHECK
| NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 1 #3 | | CHECK
| NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 3 - BARRA 1
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 2 #1 | | CHECK
| NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 2
          FALHA SUBESTAÇÃO CIDADE A; OPEN Load BARRA 3 #1 | | CHECK
| NO | 0,012000 | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 3

```

APPLIED AND SKIPPED ELEMENTS:

Applied:

OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load BARRA 1_ 13,8 (1) #1 | |
 CHECK | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 1 | #1 marked devices
 opened for this action | ELEMENT
 OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load BARRA 1_ 13,8 (1) #3 | |
 CHECK | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 3 - BARRA 1 | #2 marked devices
 opened for this action | ELEMENT
 OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load BARRA 2_ 13,8 (2) #1 | |
 CHECK | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 2 | #3 marked devices
 opened for this action | ELEMENT
 OPEN BREAKERS TO ISOLATE Load BARRA 3_ 13,8 (3) #1 | |
 CHECK | ABRIR DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 3 | #4 marked devices
 opened for this action | ELEMENT
 OPEN Transformer BARRA 7_138,0 (7) TO BARRA 4_ 13,8
 (4) CKT 1 | | CHECK | INICIAR OPERAÇÃO DE ILHAMENTO | Opened flow
 of 3,25 MVA | ELEMENT
 SET GENERATION AT BUS BARRA 5- GD SOLAR_ 13,8 (5) TO 2,5
 MW | | CHECK | SETAR GD SOLAR PARA NOVA POTÊNCIA DEMANDADA PELAS
 CARGAS PRIORITÁRIAS - 2,5MW | Bus Output changed from 5,00 to
 2,50 MW | ELEMENT
 SET GENERATION AT BUS BARRA 6 - PCH_ 13,8 (6) TO 2,5 MW
 | | CHECK | SETAR PCH PARA NOVA POTÊNCIA DEMANDADA PELAS CARGAS
 PRIORITÁRIAS - 2,5MW | Bus Output changed from 5,00 to 2,50 MW |
 ELEMENT
 OPEN Load BARRA 1_ 13,8 (1) #1 | | CHECK | VERIFICAR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 1 | Opened 3,00 MW | ELEMENT
 OPEN Load BARRA 1_ 13,8 (1) #3 | | CHECK | VERIFICAR
 DISJUNTOR DA CARGA 3 - BARRA 1 | Opened 1,00 MW | ELEMENT
 OPEN Load BARRA 2_ 13,8 (2) #1 | | CHECK | VERIFICAR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 2 | Opened 3,00 MW | ELEMENT
 OPEN Load BARRA 3_ 13,8 (3) #1 | | CHECK | VERIFICAR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 3 | Opened 2,00 MW | ELEMENT
 OPEN Load BARRA 1_ 13,8 (1) #1 | | CHECK | ABRIR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 1 | **#1 was already open** | ELEMENT
 DYNAMIC
 OPEN Load BARRA 1_ 13,8 (1) #3 | | CHECK | ABRIR
 DISJUNTOR DA CARGA 3 - BARRA 1 | **#2 was already open** | ELEMENT
 DYNAMIC
 OPEN Load BARRA 2_ 13,8 (2) #1 | | CHECK | ABRIR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 2 | **#3 was already open** | ELEMENT
 DYNAMIC
 OPEN Load BARRA 3_ 13,8 (3) #1 | | CHECK | ABRIR
 DISJUNTOR DA CARGA 1 - BARRA 3 | **#4 was already open** | ELEMENT
 DYNAMIC

NUMBER OF VIOLATIONS BY CATEGORY (Total = 0)

BRANCH:	0
BUS VOLTAGE:	0
INTERFACE:	0
LOAD ISLANDED:	2
GENERATION ISLANDED:	2
BRANCH FLOW CHANGE:	0
BUS VOLTAGE CHANGE:	0
INTERFACE FLOW CHANGE:	0