

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA A
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

VINICIUS CARVALHO MARTINS

**ANALISE DA INFLUENCIA DE SISTEMAS EMBARCADOS NO
SETOR ELÉTRICO: tecnologia na geração, transmissão e
distribuição de energia elétrica no Brasil e no Mundo**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

VINICIUS CARVALHO MARTINS

**ANALISE DA INFLUENCIA DE SISTEMAS EMBARCADOS NO
SETOR ELÉTRICO: tecnologia na geração, transmissão e
distribuição de energia elétrica no Brasil e no Mundo**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA
2016

RESUMO

CARVALHO MARTINS, Vinicius. **Análise da influência de sistemas embarcados no setor elétrico:** tecnologia na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil e no Mundo. 2016. 31 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho tem por objetivo a análise do setor elétrico e os motivadores e vantagens da implantação de sistemas de rede inteligente ou *smart grid* e medição inteligente ou *smart meters* no Brasil e no Mundo. O setor pode ser explicado em três partes, a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica. A tecnologia é peça chave na evolução destas áreas, visando atender cada vez melhor a demanda e necessidades da sociedade atual quanto à energia mais acessível, meios de acesso à informação, produção de energia renovável e micro-geração de energia no mundo. Do ponto de vista das concessionárias, também está intimamente ligado à eficiência energética e minimização das perdas de transmissão e distribuição, eficácia no atendimento a demanda, apagões, incidentes, aumentando estabilidade da rede, melhor controle e conscientização da população quanto a tarifas e qualidade de energia. No Brasil, recentemente foi fechado o primeiro projeto grande de *Smart Grid*, a maior da América do Sul, marcando o início de uma nova era neste setor. No mundo, o maior projeto da história visa que oitenta por cento dos consumidores de energia elétrica do Japão estejam ligados a uma rede inteligente até o ano de 2017. Alguns países já tem a visão de tornar não apenas a medição de energia elétrica inteligente, como também gás, água, iluminação pública, criando um conceito de Cidade Inteligente ou *Smart City*.

Palavras chave: Smart Meter. Smart Grid. Sistemas Embarcados. Setor Elétrico.

ABSTRACT

CARVALHO MARTINS, Vinicius. **Analysis of the influence of embedded systems on the energy sector:** technology on generation, transmission and distribution of energy in Brazil and in the World. 2016. 31 p. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This monograph has the purpose of analyzing the electric sector and the motivators and advantages of implementing smart grid systems and smart grids in such sectors in Brazil and in the World. The energy sector can be explained in three parts: the generation, transmission and distribution of electricity. Technology is the key part on the development of these areas, looking forward to attend the demand and needs of the today's society when considering a more accessible energy supply, new ways of accessing information, renewable power generation and micro generation. From the Utility point of view, it is as well linked to energy efficiency and reducing the losses on transmission and distribution, more efficiency on attending the customer demand, outages, accidents, raising the network stability, better control and bringing education of the society in terms of tariffs and energy quality. In Brazil, recently the first big project of Smartgrid was made official, the biggest in South America, marking the beginning of a new era in this sector for this region. In the world, the biggest project in history aims to have eighty percent of the energy consumers in Japan to be connected to a SmartGrid until the year 2017. Some countries already have the vision of having not only the electrical sector intelligent, but gas, water, public lighting, creating the concept of SmartCity.

Keywords: Smart Meter. Smart Grid. Electric sector. Embedded Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Segmentos Clássicos da Indústria de Energia Elétrica	11
Figura 2 - Projetos de Redes Inteligentes ao redor do mundo.	15
Figura 3 – Modelo de SEP	18
Figura 4 - Sistema Interligado Nacional.....	19
Figura 5 - Modalidades tarifárias no Brasil	21
Figura 6 - Categorias de Tecnologia de uma Rede Elétrica Inteligente	24
Figura 7 - Descrição das categorias das tecnologias de uma Rede Elétrica Inteligente	25
Figura 8 - Representação caso de uso Light	29
Figura 9 - Setor de Geração previsto	31
Figura 10 - Configuração do sistema de comunicação.	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

AMM – Automated Meter Management

AMR – Automated Meter Reading

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CGEE – Centro de gestão e estudos estratégicos

EPRI - Electric Power Research Institut

GPRS - General Packet Radio Services

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

kV – kilo Volt

PLC – Power Line Communication

REI – Rede elétrica inteligente

RF – Radiofrequência

SEP - sistema elétrico de potencia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	13
1.4	OBJETIVOS	13
1.4.1	Objetivo Geral	13
1.4.2	Objetivos Específicos	13
1.5	JUSTIFICATIVA	14
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	15
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO	16
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELETRICA	17
3	REDE ELETRICA INTELIGENTE	22
4	ESTUDO DE CASO RIO DE JANEIRO, LIGHT	27
5	ESTUDO DE CASO JAPÃO, TEPCO	30
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão tratados os elementos introdutórios relacionados ao estudo.

1.1 TEMA

O setor elétrico historicamente teve poucas mudanças desde que surgiu no século dezenove até os dias atuais. Apenas nas últimas décadas o avanço tecnológico e necessidade por parte da sociedade trouxe novas tecnologias para esta área. No sistema que ainda perdura hoje em dia, a energia é produzida por uma central geradora, normalmente usinas de grande porte e afastada dos consumidores, e transportada pelo sistema de transmissão, linhas de alta potência na ordem de até 750kV, ou distribuição, com linhas abaixo de 230kV, aos consumidores finais (Figura 1) (ABRADEE, 2011).



Figura 1 - Segmentos Clássicos da Indústria de Energia Elétrica
Fonte: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2011)

Com o surgimento de novas tecnologias e com elas de novas fontes de energia, entre elas geradores elétricos de pequeno porte e meios de energia renovável, surge um novo conceito no sistema de geração distribuída, onde a geração não é mais centralizada. Com esta descentralização, as redes de distribuição passam a ter papel de mais destaque na operação do sistema, tendo em vista que agora impactam diretamente na qualidade do fornecimento. A produção e

o consumo de energia elétrica, diferentemente de outros sistemas de redes, como água e gás, não pode ser armazenada de forma economicamente viável, tendo uma necessidade de equilíbrio constante entre oferta e demanda. Toda a energia consumida deve ser produzida no mesmo momento e desequilíbrios do sistema geram o risco de desligamentos em cascata na rede (ABRADEE, 2011).

Além deste delicado equilíbrio, deve-se produzir mais do que é esperado, pois existem perdas por diversos motivos durante o processo. A definição de perda pode ser dividida em perdas técnicas, que ocorrem de forma natural em circuitos elétricos devido à resistência dos materiais condutores, e perdas não técnicas, que surgem do furto ou fraude de energia elétrica, de energia não contabilizada ou não faturada. As perdas técnicas são pagas pelo próprio consumidor como parte do consumo total do equipamento elétrico utilizado, já as perdas não técnicas devido ao consumo irregular de consumidores ilegais são repassadas aos consumidores regulares. No Brasil, um dos maiores problemas das concessionárias e mesmo dos consumidores é esta última, cujo prejuízo chega a ultrapassar R\$8 bilhões por ano (ANEEL, 2011).

Com o avanço tecnológico, medidores eletromecânicos foram substituídos por medidores eletrônicos, com inteligência embarcada, os chamados *Smart Meters* e tecnologias de telecomunicação como PLC, RF, Celular, entre outras foram inseridas no contexto de medição de energia. Isto aliado a sistemas de processamento de dados em massa faz surgir o conceito de *Smart Grid*, ou rede inteligente.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Esse projeto trata dos temas inerentes a evolução tecnológica no setor de geração, transmissão e distribuição de energia no Brasil e no mundo. Os limites da pesquisa fizeram com que a argumentação convergisse para o exame da situação do cenário elétrico no Brasil e os motivos e vantagens que impulsionam esta realidade em comparação com as demais regiões do globo.

O objetivo é focar em casos recentes no território nacional, e demonstrar as possibilidades futuras com casos em outros países. Um exemplo na região do Rio de Janeiro, cuja área é responsável por abrigar um projeto de rede inteligente visto como maior da América Latina e o primeiro em larga escala do Brasil, será

apresentado. Como exemplo de possibilidades futuras, esta pesquisa terá descrito o caso recente no Japão, considerado o maior investimento do mundo nesta área.

1.3 PROBLEMA

Muitos países até hoje utilizam as redes elétricas de maneira tradicional: um sistema unidirecional, levando a energia das unidades geradoras até os centros consumidores, um processo que envolve perdas durante a transmissão e distribuição. Em muitos casos ainda utiliza-se medidores eletromecânicos que registram o consumo total dentro de um período de tempo para tarifação. (AMARAL; SOUZA; FERNANDES; VALE; GASTALDELLO, 2014). O sistema atual não é mais capaz de suprir as demandas impostas pela sociedade, principalmente as relacionadas a recursos energéticos distribuídos, e atender requisitos ambientais cada vez mais restritivos (CARRIJO; LOTERO, 2012). Neste contexto, pretende-se apresentar as vantagens, motivações, implicações e desafios na inserção e aplicação de novas tecnologias neste setor.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar o conceito de rede inteligente. As vantagens, motivações, implicações e desafios na inserção e aplicação de novas tecnologias neste setor, contextualizando no cenário Brasileiro e mundial.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Explicar o Setor Elétrico em três partes: a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica;
- Explicar o conceito de redes inteligentes;
- Identificar as principais vantagens do Smart Grid;
- Analisar vantagens específicas para diferentes mercados ao redor do mundo.

1.5 JUSTIFICATIVA

Segundo Fabio Toledo (2012, p.5):

..., o fato é que as concessionárias precisam lidar com desafios do presente e do futuro, tais como:

- A inevitável penetração de novas fontes de geração e armazenamento de energia.
- A potencial mudança do perfil do cliente de energia elétrica, por exemplo, o advento de consumidores móveis de energia (veículos elétricos e híbridos recarregáveis).
- A necessidade de lidar com a bidirecionalidade energética e de informação, em tempo real, relacionada a tais tecnologias.
- A adequação de metas ligadas a sustentabilidade do planeta e à tendência de cidades e habitats inteligentes.
- A gestão otimizada do crescimento significativo da carga que acontece anualmente.
- A resposta à crescente expectativa dos clientes em relação à qualidade do fornecimento de energia assim como aos anseios do regulador e das demais autoridades.
- A necessidade de redução de custos operacionais, como, por exemplo, aqueles relativos a perdas e inadimplência.
- A tendência de competição no mercado de energia elétrica direta ou indiretamente.

A importância destes pontos citados e a maneira como uma rede inteligente pode ser aplicada vem sendo amplamente discutido mundo a fora. Nos últimos anos surgiram projetos de smart grid como o da TEPCO, no Japão, considerado o maior projeto do tipo da história, e o da LIGHT, no Rio de Janeiro, considerado o maior da América do Sul (AMBIENTEENERGIA, 2014; EXAME, 2014). O primeiro visa instalar em torno de 27 milhões de medidores inteligentes, ligados a tecnologias de *RF Mesh*, Celular e *Power Line Communication* (PLC) até o ano de 2020 (GREENTECHMEDIA, 2014; METERING, 2015). O segundo tem como meta disponibilizar a rede inteligente para 1,6 milhão de consumidores, o equivalente a cerca de 40% do total de clientes da Light, até o ano de 2018. Na Figura 2 pode-se observar que o tema está cada vez mais presente e abrange praticamente o mundo inteiro.



**Figura 2 - Projetos de Redes Inteligentes ao redor do mundo.
Fonte: (Smart Metering Projects Map, 2016)**

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto à classificação da pesquisa: trata-se de uma pesquisa aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimento para uma aplicação prática; para os objetivos específicos, ela é predominantemente explicativa. Os procedimentos técnicos utilizados são principalmente pesquisas bibliográficas e documentais. O embasamento teórico utiliza para a elaboração deste trabalho fontes de livre acesso, consultados por meio de livros, artigos, páginas na Internet e teses.

As etapas que compõem o desenvolvimento desde trabalho têm como base coleta e informações de estudos de campo; coleta e levantamento das informações de base científica; análise e estruturação das informações e por fim construção dos resultados e elaboração da documentação necessária à proposta.

1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Em relação ao tema indústria de energia elétrica, serão utilizados como referenciais teóricos informações da Abradee (2011), ANEEL (2011), entre outros. No tema redes inteligentes serão consultados Electric Power Research Institut (2011), BNDES (2013), Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes - Smart Grid Handbook (2012), entre outros. Quanto aos exemplos de projetos serão consultadas fontes de notícias, sites de fabricantes e de concessionárias.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura abaixo apresentada.

Capítulo 1 - Introdução: serão apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo 2 – A indústria de energia elétrica: será abordado o setor do ponto de vista de geração, transmissão e distribuição. Também temas como perdas e tarifação e regulamentação.

Capítulo 3 – Rede elétrica inteligente: será abordado o conceito de rede inteligente, seus elementos, funcionalidades, vantagens e aplicações.

Capítulo 4 – Estudo de caso Rio de Janeiro, Light: será apresentado um dos conceitos e aplicações do projeto de Rede Inteligente no Brasil.

Capítulo 5 – Estudo de caso Japão, TEPCO: será apresentado um dos conceitos e aplicações do projeto de Rede Inteligente no Mundo.

Capítulo 6 – Considerações finais: Apresenta conclusão sobre o trabalho e referencias a possíveis inovações futuras na área.

2 A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELETRICA

Um sistema elétrico de potencia (SEP) pode ser definido como uma complexa infraestrutura para fornecimento de energia elétrica. Ele deve atender padrões de confiabilidade e qualidade, tarifas de valores acessíveis e sustentabilidade social e ambiental. O sistema é classicamente composto de (Figura 3) (CGEE, 2012):

- Geração: predominantemente centralizada em grandes usinas construídas longe dos centros consumidores e conectadas a rede de transmissão,
- Redes de transmissão: Composto por cabos aéreos, revestidos por camadas isolantes e fixados em grandes torres de metal. No caminho, a eletricidade passa por diversas subestações, onde aparelhos transformadores aumentam ou diminuem seu nível de tensão, alterando o que chamamos de tensão elétrica. No início do percurso, os transformadores elevam a tensão, evitando a perda excessiva de energia
- Rede de distribuição: Quando a eletricidade chega perto dos centros de consumo, as subestações diminuem a tensão elétrica, para que ela possa chegar às residências, empresas e indústrias. A partir daí, os cabos prosseguem por via aérea ou subterrânea, formando as redes de distribuição.
- Usuários finais: Podem ser divididos em industriais, comerciais e residenciais.

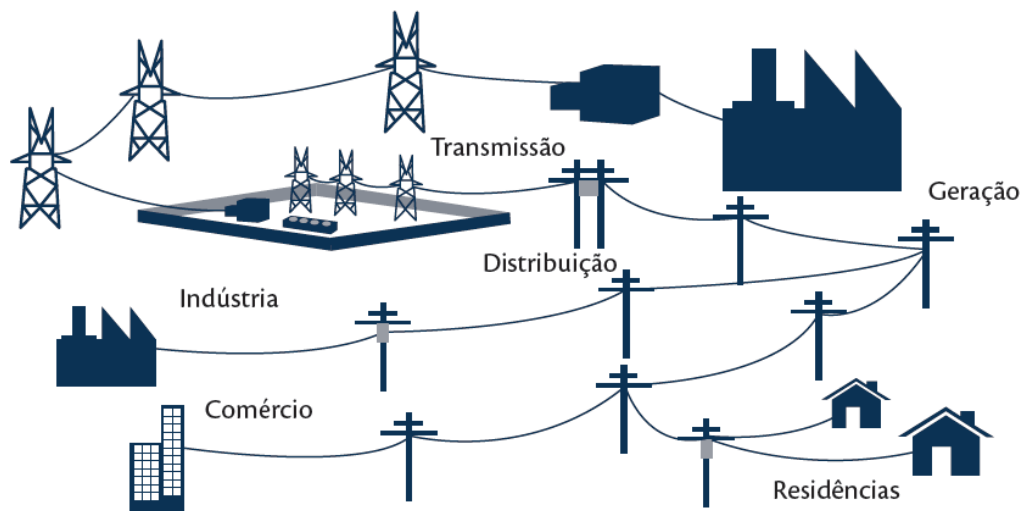


Figura 3 – Modelo de SEP
Fonte: (CGEE, 2012)

Seguindo uma lógica hierárquica, a geração fornece energia a milhares de consumidores situados abaixo de sua estrutura. O fluxo de energia é unidirecional e os consumidores não exercem papel ativo na cadeia produtiva da energia elétrica. Caso ocorra uma interrupção na transmissão, a distribuição perde o fluxo de energia, fazendo com que toda a carga conectada a essa rede se desligue, independente da capacidade de geração das usinas, causando a ocorrência de um blecaute.

O sistema de transmissão brasileiro é considerado entre os maiores do mundo, e é controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Este consiste em um grupo de empresas de todo o país, trabalhando de forma interligada. O Sistema interligado Nacional (SIN) é formado basicamente por empresas de geração e transmissão do país e permite que a energia elétrica seja compartilhada entre as diversas regiões brasileiras. O SIN abastece a maior parte do país (Figura 4), com exceção de alguns sistemas isolados, que geram a energia que vai ser consumida apenas em uma determinada localidade ou até mesmo por uma só indústria.

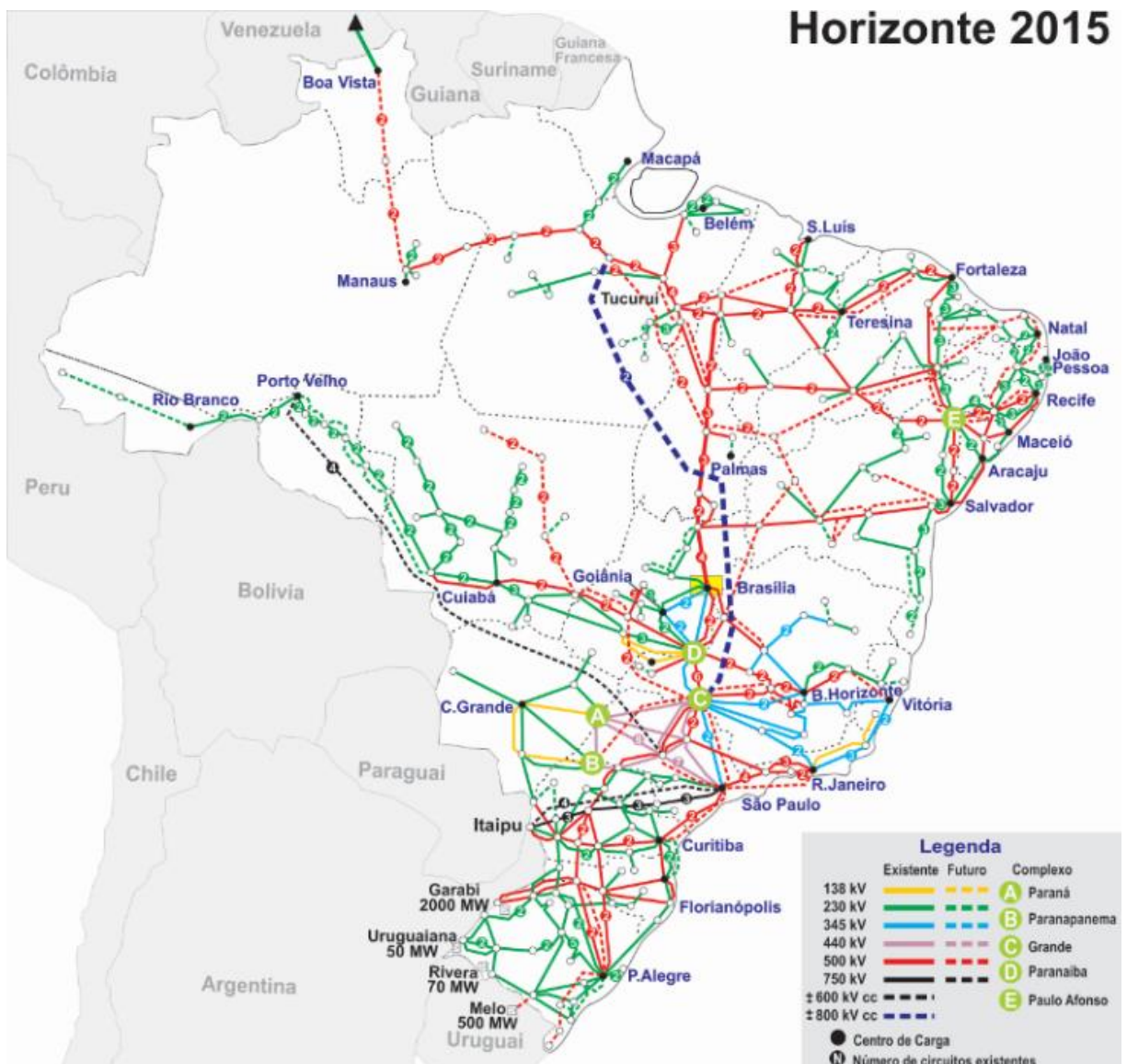


Figura 4 - Sistema Interligado Nacional
 Fonte: (ONS, 2015)

As concessionárias responsáveis pela distribuição controlam o consumo dos usuários finais instalando em cada local de consumo um medidor de energia elétrica, que consegue medir a quantidade de energia por eles utilizada. Historicamente, o medidor presente em ambientes clássicos é eletromecânico. Isso implica em um técnico ir mensalmente ao medidor e anotar o valor indicado pelo registrador do instrumento. A concessionária organiza e mantém atualizados os calendários das respectivas datas fixadas para a leitura dos medidores, a apresentação e vencimento da fatura, que estarão sujeitos à fiscalização da ANEEL. As leituras e os faturamentos são efetuados em intervalos de aproximadamente 30 (trinta) dias, de

acordo com o calendário respectivo (ANEEL, 2000). Tal método implica em grande quantia de Mão de obra, além de riscos e problemas de erro humano no processo.

Na primeira metade dos anos 80, os primeiros medidores eletrônicos comerciais começaram a aparecer nos Estados Unidos. Com tecnologia embarcada, estes medidores tinham sensores de tensão e corrente separados para cada fase, cujos valores eram digitalizados e processados, resultando em um valor de energia calculado com maior exatidão e menor custo de produto. Os medidores eletrônicos mostraram melhor exatidão também ao longo do tempo quando comparados aos medidores eletromecânicos, e não requerem ajuste nem manutenção, devido ao fato dos medidores eletromecânicos sofrerem um desgaste normal das suas partes móveis. Com a introdução de sistemas compostos por HW e FW, os medidores passaram a ser homologados pelo INMETRO e aprovados pela ANEEL, para garantir a integridade do produto e a segurança por parte do usuário final.

Normalmente o mercado de energia elétrica é baseado em tarifas fixas e possui limitações de informações em tempo real sobre gerenciamento da rede e da carga, o que torna a resposta a variações ou problemas lenta e onerosa. Além de tornar a infraestrutura de suporte necessária muito custosa.

O sistema do setor elétrico é sempre dimensionado para atender à demanda máxima, mesmo que a energia gerada não seja consumida na maior parte do tempo. Considerando que a rotina da media da população segue os mesmos horários, a utilização de aparelhos elétricos de alto consumo segue a tendência de consumirem no mesmo período de tempo. Quanto mais consumidores utilizarem o sistema elétrico durante o período de maior demanda, maior deve ser a infraestrutura de geração e transmissão, tornando o custo como um todo maior.

Uma maneira de solucionar este problema é reeducando a sociedade e incentivando a consumir fora dos horários comuns. Isto faz com que o consumo tenha um aspecto mais uniforme ao longo do dia e a infraestrutura do setor possa ser otimizada. As Tarifas (Figura 5) surgem como medida de balancear os custos da estrutura ociosa. O aumento do custo da energia durante o horário de uso mais intenso do sistema elétrico aumenta a eficiência econômica do setor elétrico através da redução do consumo neste horário. (APOLINARIO, et al., 2008) A aplicação de tarifas horárias resulta imediatamente em um melhor comportamento dos consumidores e em uma redução do consumo total no longo prazo. (KIRSCHEN, STRBAC, CUMPERAYOT, MENDES, 2000)

As modalidades tarifárias de baixa tensão (grupo B)		
Modalidade de tarifa para o grupo B (baixa tensão)	A quem se aplica?	Características
Convencional	Residencial, comercial, industrial, rural e iluminação pública	Tarifa monômnia (cobrança apenas na energia) sem diferenciação horária
Branca	Opcional para residencial, comercial, industrial e rural	Tarifa monômnia com diferenciação horária (mais cara no horário intermediário e ponta)
As modalidades tarifárias de média e alta tensão (grupo A)		
Modalidade de tarifa para o grupo A (média e alta tensão)	A quem se aplica?	Características
Convencional (esta tarifa está sendo extinta pela ANEEL)	Opcional para consumidores de qualquer atividade, desde que tenham demanda inferior a 300 kW e tensão inferior a 69 kV	Tarifa binômnia, sem distinção por períodos do dia
Verde	Opcional para consumidores de qualquer atividade, desde que a tensão seja inferior a 69 kV	Tarifa binômnia, com distinção por períodos do dia (ponta e fora-ponta)
Azul	Para consumidores de qualquer atividade, tornando-se obrigatória para tensão superior ou igual a 69 kV	Tarifa binômnia, com distinção por períodos do dia (ponta e fora-ponta)

Figura 5 - Modalidades tarifárias no Brasil
 Fonte: (ABRADEE, 2011)

A aplicação de tarifação horária traz diversos benefícios. Questões de eficiência energética e a diminuição de investimentos, a melhoria da segurança do sistema elétrico, ganhos ambientais e benefícios relacionados à equidade social.

(LAMIN, 2009) Além disso, as tarifas horárias têm potencial para melhorar a confiabilidade do sistema elétrico, o fator de potência e o nível de tensão de fornecimento. (LAFFERTY, et al., 2001) Uma demanda mais constante permite uma energia mais limpa e uniforme sendo entregue para os consumidores finais.

3 REDE ELETRICA INTELIGENTE

O termo de rede inteligente ou *Smart Grid* se refere à modernização do sistema de energia elétrica para permitir monitorar, proteger e aperfeiçoar de maneira automática a operação de seus elementos e suas interconexões. Desde a geração centralizada, passando pela rede de alta voltagem e pelo sistema de distribuição, até os usuários da indústria, como instalações de armazenamento de energia, e usuários finais com seus termostatos, veículos elétricos, eletrodomésticos em geral. Ela pode ser caracterizada por um fluxo de duas vias de eletricidade e informação, criando uma rede de entrega de energia elétrica automatizada e largamente distribuída. A mesma incorpora na rede os benefícios de computação distribuída e meios de comunicação para ter como resultado a disponibilidade de informação em tempo real e permitir um balanceamento quase instantâneo de demanda e entrega no nível de um dispositivo elétrico (EPRI, 2011).

Os benefícios de uma *Smart Grid* podem ser caracterizados em:

- Qualidade e confiabilidade. Uma rede inteligente prove uma fonte de energia com menos quedas e de mais curta duração, mais limpa, livre de ruídos e com a capacidade de se auto-reparar. Isto se deve ao uso de informação digital, controle automatizado e sistemas autônomos.
- Segurança. Uma rede inteligente monitora continuamente sua operação visando detectar situações de irregularidade ou insegurança que possam afetar sua qualidade ou operação. Todo sistema e operação possui inteligência embarcada para garantir monitoramento, segurança e privacidade de transporte de informação dos usuários e clientes.
- Eficiência Energética. Ter a capacidade de monitorar a demanda e controlar a distribuição de energia permite que a rede inteligente seja mais eficiente, reduzindo o uso total de energia, os picos de demanda,

as perdas da rede e podendo utilizar informação para instruir e induzir os usuários finais a consumir de maneira mais eficiente a energia produzida ao invés de esperar por novas fontes de geração.

- Vantagens para o meio ambiente. Redes inteligentes ajudam a reduzir a geração de gases e poluentes reduzindo a geração de energia por parte de fontes não eficientes. Também são preparadas para novas fontes de energias mais limpas e renováveis e permitem integração de novas tecnologias como veículos elétricos.
- Financeiro. Custos de operação são reduzidos ou evitados. Os clientes finais têm escolhas de preços e fácil acesso a informação. Quantidade de perdas e fraudes é reduzida drasticamente.

As vantagens podem também ser observadas pelo ponto de vista de cada personagem no processo. Os consumidores finais podem equilibrar seu consumo de acordo com a geração em tempo real. Incentivos de tarifação pelo uso inteligente da energia ou para que os consumidores possam instalar sua própria infraestrutura para contribuir com a rede. Para as concessionárias, poder prover uma energia mais confiável, principalmente em condições de emergência, e ainda assim conseguir controlar seus gastos de maneira mais eficiente através de controle e informação. Para a sociedade em geral, os benefícios vem de ter um serviço mais confiável para serviços em geral, comércios, indústrias com menos quedas de energia. Suporte a fontes renováveis e veículos elétricos reduzem custos de meio ambiente e emissões. Uma rede mais estável e eficiente também contribui com a redução de custos e contribui para a economia. As informações são também mais simples e transparentes para serem auditadas por órgãos fiscais, garantindo a qualidade como um todo.

A implantação das redes inteligentes pode ser dividida em três partes complementares e independentes (BANDEIRA, 2012).

1. Agregar inteligência ao sistema de fornecimento e infraestrutura da geração, transmissão e distribuição, garante maior robustez, segurança e agilidade na rede.
2. Substituição dos medidores eletromecânicos por eletrônicos inteligentes. Consumidores podem obter informações sobre o consumo de energia por horário (tarifa branca), apresentação de dados do último

período de faturamento (memória de massa) e indicativos da qualidade da energia ofertada pelas concessionárias. Isto permite que a Aneel possa reduzir o valor cobrado pela energia caso os indicadores fiquem fora do padrão de qualidade estabelecido. Para as concessionárias surge a vantagem de realizar corte e religamento remotos, oferta pré-paga de energia (comunicação de dados uni ou bidirecional do medidor ao centro de medição) e obter uma redução de custos operacionais.

3. Uso da inteligência nos consumidores finais. Eletrodomésticos inteligentes interconectados ao medidor, o que permite distribuir de maneira mais inteligente o consumo, microgeração local/distribuída de energia, cuja energia pode ser utilizada em horários de pico, ou entregue para manter a estabilidade da rede, e armazenamento de energia com o uso de carros elétricos.

As Redes Elétricas Inteligentes integram um conjunto de tecnologias relacionadas com a geração, transmissão, distribuição, armazenamento e consumo da energia elétrica. A Figura 6 ilustra as principais categorias de tecnologias constituintes de uma Rede Elétrica Inteligente. Há comunicação entre os vários segmentos, possibilitando tomadas de decisões de forma online.

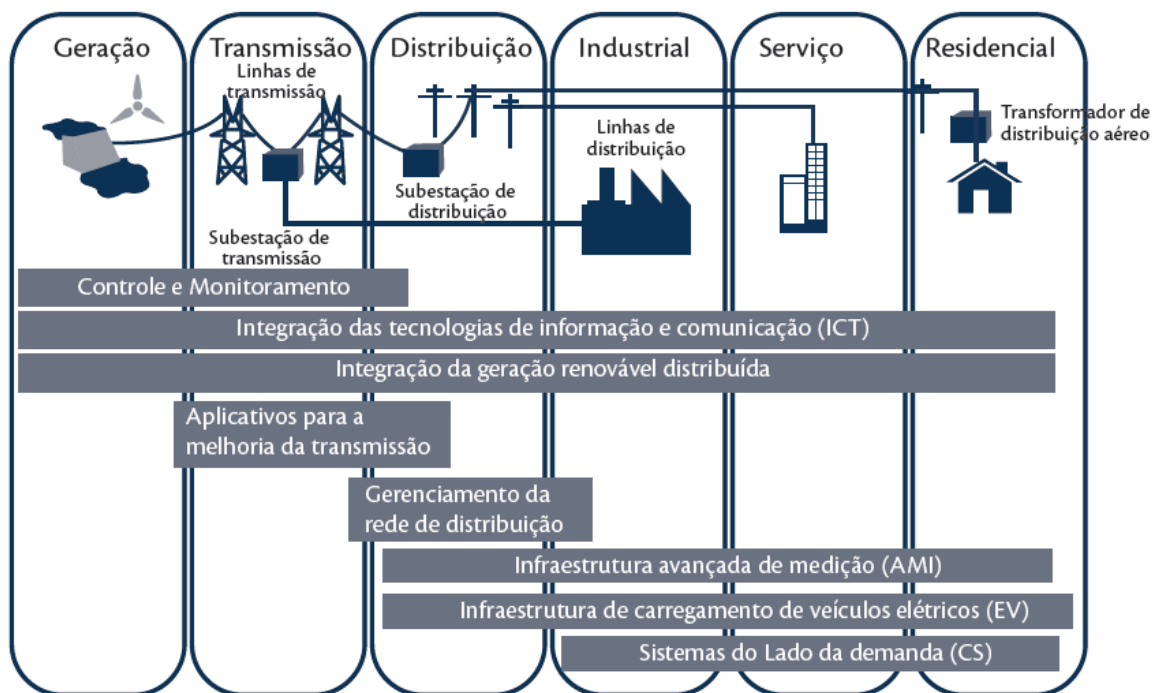


Figura 6 - Categorias de Tecnologia de uma Rede Elétrica Inteligente
 Fonte: (CGEE, 2012)

Na Figura 7 pode-se observar a descrição de cada categoria de tecnologia e seus principais equipamentos de hardware e de software (IEA, 2011). Além destes, existem outras áreas e desafios tecnológicos associados às categorias (CGEE, 2012):

- controle de sistemas em tempo real;
- eficiência energética;
- geração renovável em pequena escala;
- sensores, controladores e atuadores de última geração;
- armazenamento de energia e chaveamento eletrônico;
- tarifas inteligentes, uso otimizado de energia, menores investimentos em longo prazo;
- redução de emissões de gases poluentes, menor impacto ambiental;
- equipamentos da rede elétrica inteligente (transformadores, chaves, etc).

Categoria	Hardware	Software
Monitoramento e controle de longas áreas	Sensores	Sistemas SCADA, WAMS, WAAPCA e WASA
Integração de informação e comunicação	Equipamentos para comunicação (PLC, WIMAX, LTE, RF <i>mesh</i> , Celular), Roteadores, Gateways e Computadores	Sistemas ERP e CIS
Integração de geração distribuída e de fontes renováveis	Equipamentos de geração, Inversores e armazenamento de eletricidade	Sistemas EMS, DMS, SCADA e GIS
Aprimoramento da transmissão	Supercondutores, FACTS, HVDC	Sistemas de análise de estabilidade da rede e de recuperação automática
Gerenciamento da rede de distribuição	Chaves religadoras automáticas com sensores, sensores em transformadores e em cabos condutores	Sistemas GIS, DMS, OMS e WMS
Infraestrutura de medição avançada	Medidores eletrônicos inteligentes, Mostradores visuais de consumo e Computadores	Sistemas MDMS e de faturamento de energia
Infraestrutura de carregamento de veículos elétricos	Baterias, Inversores e Unidades automatizadas de abastecimento	Sistema de faturamento de energia, G2V e V2G
Gerenciamento pelo lado do consumidor	Mostradores visuais de consumo, Dispositivos portáteis e Equipamentos atuadores	Sistemas visuais de consumo, de gerenciamento de consumo doméstico e aplicações móveis

Figura 7 - Descrição das categorias das tecnologias de uma Rede Elétrica Inteligente
Fonte: (CGEE, 2012)

Muitas vezes a medição inteligente é considerada como sendo a própria Rede Elétrica Inteligente, mas é apenas uma das etapas para se atingir o conceito completo. Quando se fala de tecnologia embarcada em medidores inteligentes, normalmente se refere à Medição avançada. São medidores eletrônicos com hardware e firmware capazes de processar, armazenar e comunicar, de maneira bidirecional.

Aliado a isso, um software de aplicação que é capaz de realizar a aquisição automática de dados em intervalos de tempo configurável, envio de informações para o medidor de maneira remota e sistema de gerenciamento massivo. A aplicação é então capaz de gerar informações referentes a gerenciamento de ativos, informação de segurança e análise de dados.

A medição inteligente pode ser caracterizada conforme CGEE (2012, p. 101):

- Automated Meter Reading (AMR), ou Leitura Automática do Medidor, conceito antigo com comunicação unidirecional com um Centro de Controle de Medição (CCM) para o processo de geração de fatura, visando maior exatidão nas medições e economia de custos com leituristas.
- Medidor Inteligente (Smart meter) é um medidor eletrônico (ou digital) com capacidade para aplicações que vão muito além da medição do consumo de energia, registrando dados em intervalos de tempo configuráveis e permitindo comunicação bidirecional com o CCM. Para atender ao conceito completo de REI, o medidor deve permitir integração com dispositivos domésticos também inteligentes (smart appliances).
- Advanced Meter Management (AMM), ou Gerenciamento do Medidor Avançado, refere-se a uma plataforma técnica de gerenciamento para medidores inteligentes dispostos em redes de comunicação, lendo perfis de carga em intervalos de tempo inferiores a uma hora. Pode ser entendido como toda ação de gerenciamento sobre o medidor como ativo da rede. Apresenta como funções básicas (i) gerenciamento de dispositivo (p. ex., gestão de parâmetros dos medidores), (ii) gestão de grupo, possibilitando o controle de grupos de dispositivos, como configuração e upgrade de firmware, e (iii) gestão de plataforma de comunicação, assegurando comunicação confiável entre medidores e CCM, reportando status de rede, desempenho da comunicação e situações de exceção. Importante notar que a AMM não armazena os dados coletados dos medidores (ou o faz apenas temporariamente), transmitindo-os ao MDM.
- Meter Data Management (MDM), ou Gerenciamento de Dados do Medidor, processa e gerencia os dados gerados pelos medidores, incluindo informações além da energia consumida, como por exemplo, fator de potência e indicadores de qualidade. Objetiva aperfeiçoar processos como faturamento, eficiência

operacional, serviços ao consumidor, previsão de demanda de energia, gerenciamento do sistema de distribuição (Distribution Management System - DMS), gestão de fraudes, gestão de demanda, entre outros. A questão não se resume mais em como coletar dados remotamente (função da AMM), mas como gerenciá-los para obter mais informação. Tem como funções básicas (i) atuar como repositório de dados de registros, eventos e alarmes, e (ii) processar e analisar dados dos medidores, aplicando validação e retificação em dados inconsistentes e transformando perfis de carga elementares em informação útil à concessionária.

- Advanced Metering Infrastructure (AMI) ou Infraestrutura de Medição Avançada, sendo que alguns autores utilizam o termo AMI como sinônimo de medição inteligente englobando os conceitos de AMM e MDM. Na prática está relacionado mais à infraestrutura de meios de comunicação necessários para permitir as funcionalidades de medição inteligente.

Uma rede contendo as características de comunicação bidirecional, que permita troca de informações em tempo real entre consumidores e a concessionária de energia elétrica é capaz de automatizar a coleta de dados de faturamento, disponibilizar informações do preço da energia, conectar e desconectar consumidores, detectar problemas e permitir controlar as equipes de manutenção de forma mais assertiva, além de detectar e impedir o furto de energia.

4 ESTUDO DE CASO RIO DE JANEIRO, LIGHT

Como caso de estudo recente dentro do território brasileiro, a concessionária LIGHT, do Rio de Janeiro, fechou um contrato com a empresa Landis+Gyr para o que foi considerado maior projeto de smart grid da América do Sul até o momento. O projeto custou em torno de R\$750 milhões e envolve até 2 milhões de medidores, além de infraestrutura e sistemas de automação.

Na América Latina e o Brasil, a força motriz para Smart Grid é a confiabilidade da rede e a redução das perdas não técnicas de energia. Segundo o presidente da Light, Paulo Roberto Pinto (VALORECONOMICO, 2014), “O furto de energia é considerado internamente um “câncer” para a Light. Segundo o diretor-presidente da empresa, Paulo Roberto Pinto, a companhia deixa de arrecadar R\$ 2 bilhões por ano com perdas comerciais. O volume de energia não faturado equivale a todo o consumo do Estado do Espírito Santo”.

Quando observado o impacto da implantação da rede inteligente nos diversos setores, observa-se:

- Geração: O impacto direto será pequeno, pois as facilidades das redes inteligentes voltam-se, principalmente para a geração distribuída.
- Transmissão: Nesse segmento é possível verificar-se um impacto maior, principalmente proporcionado pelos Sistemas de Monitoração, Controle e Proteção Amplos (Wide Area Monitoring, Protection and Control - WAMPAC), baseados em PMUs (Phasor Measurement Unit).
- Distribuição: Grande impacto é esperado no segmento de distribuição de energia elétrica proporcionados pela introdução de sistemas de medição centralizada, medidores inteligentes e pela automação das redes distribuição.
- Consumo: As grandes mudanças, entretanto, estão reservadas para o consumo ou uso final da energia elétrica. O que vai acontecer “após o ponto de instalação do medidor de energia” tem potencial para revolucionar o setor elétrico, principalmente porque o consumidor deixa de ser passivo e passa a ser ativo.

A Light esta presente em 31 municípios do estado do Rio de Janeiro. Ela possui em torno de 4,0 milhões de clientes, que consistem em 70% dos consumidores do Estado (2º PIB do Brasil). Sua área de abrangência é de 10.970 km². Em relação a mercado de medição, pode ser dividido em consumidores de:

- AT – Alta tensão: 43 medidores.
- MT – Media tensão: 7.542 medidores
- BT>5000 kWh/mês – Baixa tensão: 15.643 medidores
- BT entre 1.000 E 5.000 kWh/mês: 79.243 medidores
- BT<1.000 kWh/mês: 4.003.433 medidores

O sistema de rede inteligente irá englobar além de AMI para diversos grupos de medidores, conforme citado anteriormente, também aplicações de DA/SCADA, onde se utiliza de estrutura de comunicação bidirecional para ler e acionar

dispositivos de automação da rede como sensores e atuadores (ex. religadores). Tem-se então todos os dispositivos de rede interligados em uma rede de rádios com tecnologia RF mesh IPv6, e esta rede ligada aos diversos sistemas de SW de aplicação, gerenciamento e controle (Figura 8). Cada ponto final da rede pode ser visto como um objeto único em uma rede, similar a uma rede de computadores.

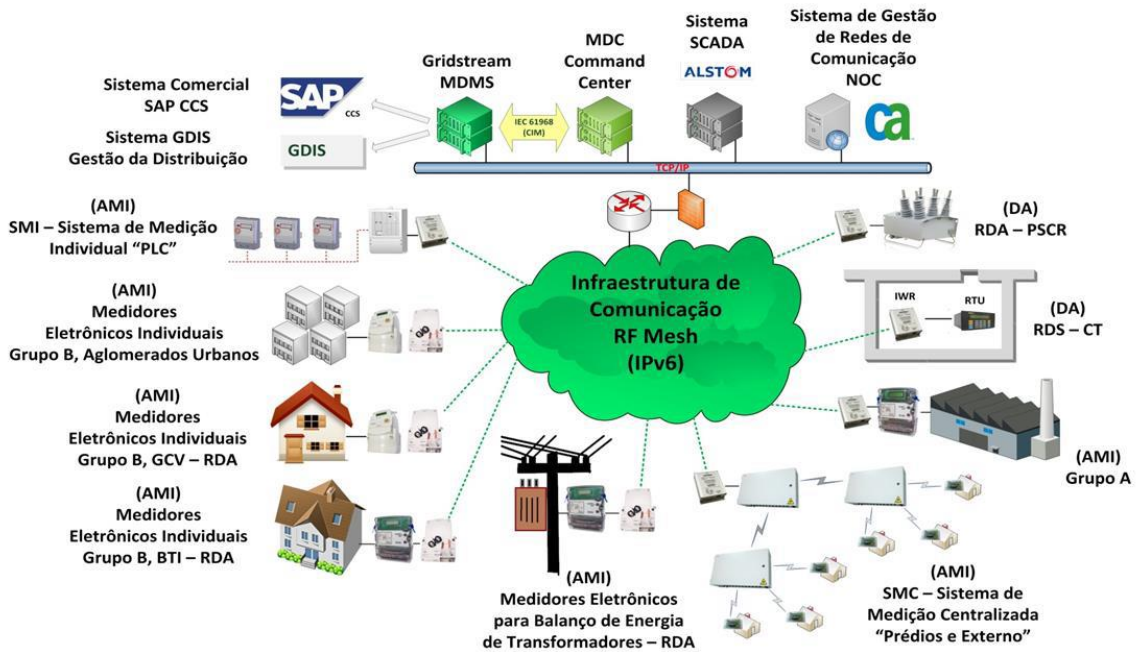


Figura 8 - Representação caso de uso Light
Fonte: (LIGHT, 2014)

Dentre as aplicações de automação, pode-se citar a automação de redes subterrâneas, com a Supervisão e Controle de 4.000 Câmaras Subterrâneas. Dentre os dispositivos utilizados na rede:

- Chaves para Operação e Manutenção;
- Temperatura dentro das CTs;
- Operação de Bombas de Drenagem;
- Sensores de Inundação das CTs
- Detectores para Vazamento de gases explosivos;

Outra aplicação é a automação da rede aérea, com a automatização de 5 mil religadores e monitoramento de 40 mil transformadores.

Com este cenário, A meta da empresa é disponibilizar a rede inteligente para 1,6 milhão de consumidores, o equivalente a cerca de 40% do total de clientes da

distribuidora, até 2018. O programa tem prioridade na Baixada Fluminense e na Zona Oeste do Rio de Janeiro, as regiões mais críticas em termos de perdas.

5 ESTUDO DE CASO JAPÃO, TEPCO

Em março de 2011, o Japão foi atingido por um terremoto de magnitude 9.0, que ocorreu no mar próximo à costa da região de Sanriku. Com o impacto, houve dano à usina nuclear de Fukushima. Apesar disso, as unidades 1 a 3 da usina, que estavam em operação na hora, foram desligadas por segurança como esperado. O problema veio com o Tsunami que atingiu a usina logo após, causando problemas nos equipamentos de resfriamento, que pararam de levar água até os reatores. Devido a isso, houve explosões com vazamento de radiação na região, que fez com que o governo declarasse evacuação da área, que esta interdita até os dias de hoje para descontaminação (TEPCO, 2011).

Com o acidente, a demanda por energia em contraste a defasagem na geração causou o aumento do custo da energia elétrica no Japão. Como medida, o governo montou uma agenda de planejamento para as 10 concessionárias do Japão adequarem seus sistemas a sistemas de Smart Grid (METERING, 2015). O objetivo é reduzir a produção de energia de grandes geradoras, como nuclear, e investir em geração distribuída através de fontes renováveis (TEPCO, 2012).

A TEPCO fechou então um projeto de substituição de 27 milhões de medidores, inicialmente até o ano de 2023. Hoje a empresa se comprometeu a acelerar a instalação para entregar toda a rede até a data de 2020, com as olimpíadas de Tokyo. Em 2014, a agenda de instalação já previa o cenário presente na Tabela 1 (CSEE, 2014):

Tabela 1 - Agenda de instalação de 2014
Fonte: (CSEE, 2014)

Classificação	Numero de consumidores	Uso de energia (%)	Progresso da instalação em 2014
Acima de 20KV	3000	40	Concluído
6kV e acima de 500kW	12000		

6kV e abaixo de 500kW	230000	20	Estimado terminar em 2016
Abaixo de 6kV	27 milhões	40	Instalação contínua de 2014 a 2020

O projeto da Tepco pode ser analisado de vários pontos. Se a geração de energia for utilizada como referência (Figura 9), o sistema passa a ter geração descentralizada, com geradoras de larga escala (nucleares, hidroelétricas, térmicas), coordenadas com novas fontes de energia renováveis (solar, eólica). Também se adiciona a isto bancos de baterias, microgeradores dispersos ao longo da rede de distribuição, entre outros.

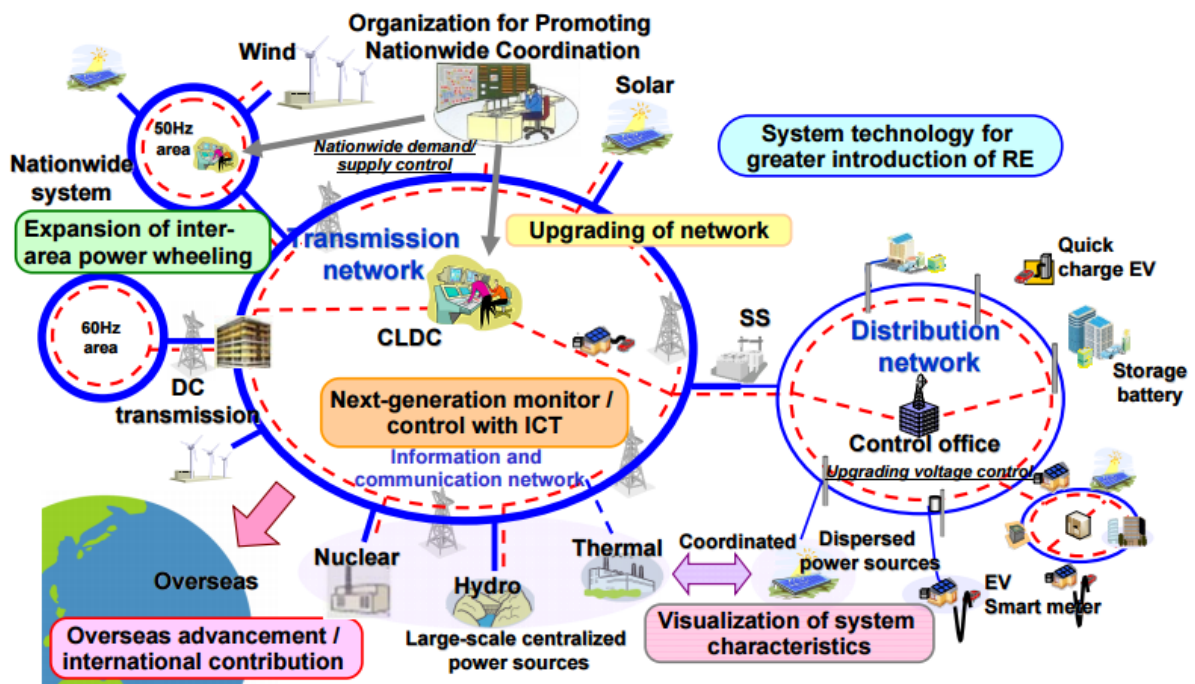


Figura 9 - Setor de Geração previsto
Fonte: (CSEE, 2014)

Quando o setor de distribuição e consumo é observado, mais diretamente sob a análise de comunicação do sistema, este se configura em uma coexistência de três diferentes tecnologias: RF mesh, Celular e PLC. Esta pode ser observada na Figura 10. O sistema pode ser dividido entre WAN, onde o uso de fibra ótica ou rede celular é usado como meio de acesso aos sistemas de aplicação, e FAN, onde as redes de medidores ligados as mídias de comunicação existem. Ainda pode ser

dividida em Rota A e B. A primeira faz parte do funcionamento de rede comum (WAN+FAN). A segunda é uma conexão específica entre um medidor e uma mídia de visualização do consumidor final, como um dispositivo que mostra o consumo e perfil de carga para o usuário como informativo.

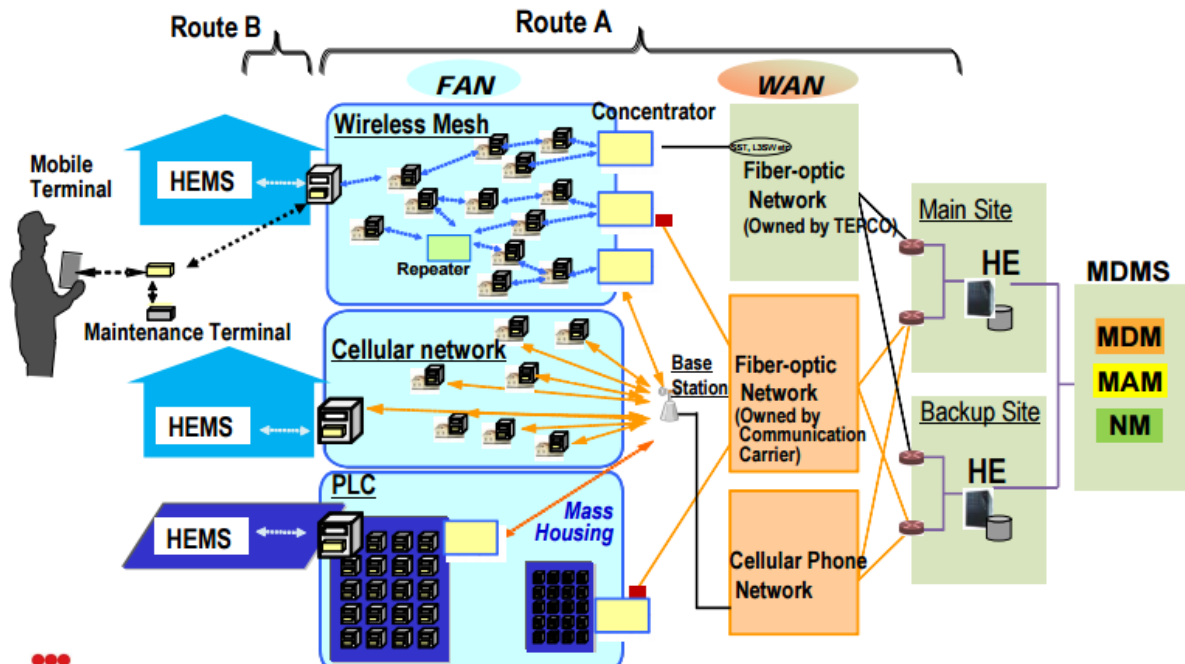
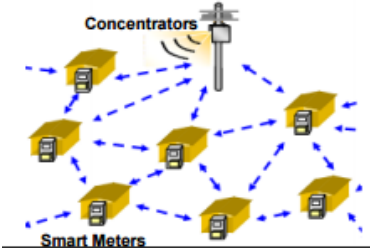
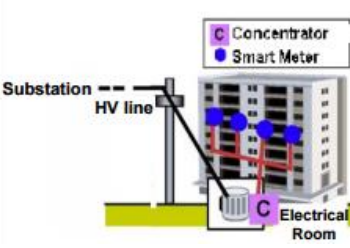
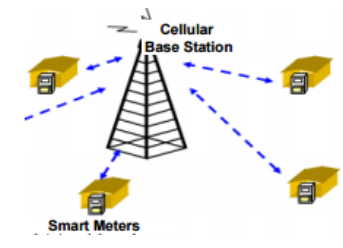
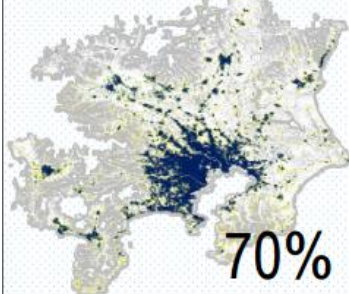
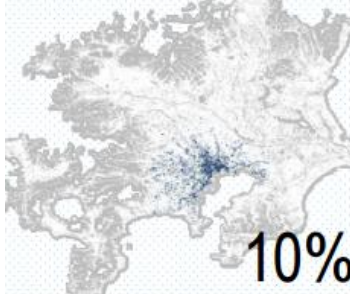
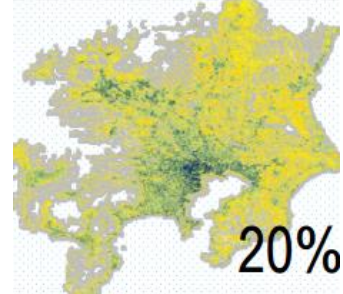


Figura 10 - Configuração do sistema de comunicação.
Fonte: (CSEE, 2014)

O uso das três diferentes tecnologias vem de um design de rede com o conceito de tecnologia certa para a aplicação certa. Utiliza-se o RF mesh em regiões mais densas, por ser ideal para medidores de baixo custo e próximos. O PLC é utilizado em complexos prediais, onde sinais de radiofrequência possivelmente seriam bloqueados. O Celular, por ser ponto a ponto e depender apenas de uma torre próxima, é utilizado em regiões menos densas, como áreas rurais, onde uma rede mesh não poderia ser formada. Tal divisão pode ser vista na Tabela 2.

Tabela 2 - Densidade de medidores inteligentes por região por tecnologia.
Fonte: (CSEE, 2014)

	RF Mesh	PLC	Celular
Exemplo de rede			
Densidade	 <p>70%</p>	 <p>10%</p>	 <p>20%</p>

Este projeto demonstra como é possível revolucionar uma rede comum e transformá-la no conceito de rede inteligente, aplicando diversos tipos de tecnologias em todas as partes do setor de energia elétrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema elétrico clássico está cada vez mais próximo de ser inviável para as novas necessidades e demandas tecnológicas, ambientais, econômicas e sociais. A evolução tecnológica, trazendo inteligência embarcada em medidores e mídias de comunicações, na infraestrutura e instrumentos de automação, em equipamentos de análise e gerenciamento de redes de distribuição e transmissão, aliado a alta capacidade de processamento de sistemas de SW para trabalhar informações de forma massiva, trás um conceito de plataforma de gerenciamento de energia ponto a ponto de todas as partes presentes no setor de energia elétrica.

Projetos como os demonstrados neste trabalho são a prova de que a revolução e aplicação de redes inteligentes é viável e trás muitos benefícios. No mundo, exemplos como a TEPCO tendem a ser cada vez mais comuns, geralmente aliados a regulamentações com objetivos ambientais ou tecnológicos. No Brasil, o objetivo é o fator econômico devido a prevenção de perdas do sistema atual. O

exemplo da Light é a prova de que um grande projeto de rede inteligente pode ser executado, e tende a incentivar auxílio regulamentador e criar uma tendência de modernização do setor elétrico nacional.

Por fim, a demonstração de uma comunicação entre todas as partes do sistema abre conceitos de futuras versões de internet das coisas, onde eletrodomésticos seriam integrados a rede e passariam a atuar na estabilização da mesma do ponto de vista de demanda. O exemplo da TEPCO, onde se tem diversas novas tecnologias numa mesma rede com uma escalabilidade da ordem de milhões de dispositivos, faz com que o conceito de Cidade Inteligente passe a ser cada vez mais visado. Uma ideia de comunidade inteligente, onde utilizam-se todos os recursos possíveis de maneira ótima para proporcionar uma melhor qualidade de vida para os habitantes. Na Europa e Estados Unidos, existem projetos de rede que integram sistemas de medição de energia elétrica com medição de gás, água e calor. Gerenciamento de iluminação pública inteligente também é outro tema sendo discutido cada vez mais. As redes inteligentes são um início de inúmeras possibilidades de globalização da tecnologia.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **MÓDULO 1 - A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2011. 34 f. Disponível em: < <http://www.abradee.com.br/escolha-abradee-para-voce/cartilha/book/2-livro-1/4-livro-1>>. Acesso em: 05 dez. 2015

ANEEL. **Resolução N.º 456 de 29 de Novembro de 2000 - Arts. 01 a 62**. 2000. Agência Nacional de Energia Elétrica..

ANEEL. **Consumo irregular de energia gera prejuízo de R\$ 8,1 bilhões ao ano**. 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivo.cfm?tipo=PDF&idNoticia=4160&idAreaNoticia=1>. Acesso em: 20 dez. 2015.

AMARAL, Haroldo L. M. do; SOUZA, Andre N. de; FERNANDES, Filipe; VALE, Zita; GASTALDELLO, Danilo S. **Smart Metering Como Ferramenta de Eficiência Energética**. 2014. V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE. Foz do Iguaçu. Anais 2014.

AMBIENTEENERGIA. **Light fecha o maior contrato de Smart Grid da América do Sul**. 2014. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2014/10/light-fecha-o-maior-contrato-de-smart-grid-da-america-sul/24604>. Acesso em: 05 dez. 2015.

APOLINÁRIO, L.; FELIZARDO, N.; GARCIA, A.; OLIVEIRA, P.; TRINDADE, A.; VERDELHO, P. **Determination of Time-Of-Day Schedules in the Portuguese Electric Sector**. 2008. 134 f. ERSE, A Regulação da Energia em Portugal - 1997-2007. Lisboa

BANDEIRA, F. de P. M. **Redes de energia elétrica inteligentes (SMART GRIDS)**. 2012. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/documentos-epesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012_7872.pdf>. Acesso em: 07 jan 2016.

BNDES. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local**. 2013. 42 f. Revista do BNDES 40, dezembro 2013

CARRIJO, Artur S.; LOTERO, Roberto C. **Comparando a Realidade Brasileira com o Desenvolvimento de Smart Grid em Sistemas de Distribuição dos Estados Unidos e da Europa.** 2012.

CGEE. **Redes Elétricas Inteligentes:** contexto nacional. 2012. 176 f. Centro de Gestão e estudos estratégicos. Série Documentos Técnicos. Dezembro 2012. nº16.

EPRI. **Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid.** 2011. 162 f. Electric Power Research Institute.

CSEE. **TEPCO's "Smart Grid" Initiatives.** 2014. Disponível em: <http://www.csee.org.cn/data/zt_ciced2014/doc/KS4.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2015.

EXAME. **Light anuncia Projeto Smart Grid no valor de R\$ 749,2 mi.** 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/light-anuncia-projeto-smart-grid-no-valor-de-r-749-2-mi-2>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

GREENTECHMEDIA. **4 Ways Tokyo's Smart Meter Plan Breaks New Ground.** 2014. Disponível em: <<http://www.greentechmedia.com/articles/read/4-ways-tokyos-smart-meter-plans-break-new-ground>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

IEA. **Technology roadmaps smart grids.** 2011. International energy agency. Disponível em: <http://www.iea.org/papers/2011/smartgrids_roadmap.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2016

KIRSCHEN, D. S.; STRBAC, G.; CUMPERAYOT, P.; MENDES, D. D. **Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Prices.** 2000. 617 f. IEEE Transactions on Power Systems.

LAFFERTY, R.; HUNGER, D.; BALLARD, J.; MAHRENHOLZ, G.; MEAD, D.; BANDERA, D. **Demand Responsiveness in Electricity Markets.** 2001. Disponível em:<http://www.naseo.org/committees/energyproduction/documents/demand_responsiveness_in_electricity_markets.pdf>. Acesso em: 11 Jan 2016.

LAMIN, H. **Medição eletrônica em baixa tensão: aspectos regulatórios e recomendações para implantação.** 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília.

LIGHT. **Projeto Smart Grid: Visão geral.** 2014. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/Conselho_de_Consumidores/Encontros%20CDC%20Documentos/LIGHT_SmartGrid_Encontro_CEMIG.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2015.

METERING. **Smart meters Japan: TEPCO to deploy 27m by 2020 Olympic Games.** 2015. Disponível em: <<http://www.metering.com/smart-meters-japan-tepco-to-deploy-27m-by-2020-olympic-games/>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

ONS. **O que é o SIN – Sistema Interligado Nacional.** 2013. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx> Acesso em: 20 jan. 2016.

SMART metering projects map. 2016. Disponível em: <<http://www.metering.com/smart-meters-japan-tepco-to-deploy-27m-by-2020-olympic-games/>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

TEPCO. **Smart Grid Initiatives in TEPCO.** 2011. Disponível em: <<http://www.enecho.meti.go.jp/notice/event/036/pdf/event036002.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

TOLEDO, Fabio. **Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes - Smart Grid Handbook.** 2012. 336 f. Brasport. Rio de Janeiro.

VALORECONOMICO. **Light investirá R\$ 750 milhões em redes inteligentes.** 2014. Disponível em: <http://www.valor.com.br/video/3571673187001/light-investira-r-750-milhoes-em-redes-inteligentes>. Acesso em: 10 nov. 2015.