

**JOÃO PEDRO MATHIDIOS DE OLIVEIRA**

**A internet das coisas aplicado às smart grids: estudo da viabilidade econômica da região  
sudeste**

**João Pedro Mathidios de Oliveira**

**A internet das coisas aplicado às smart grids: estudo da viabilidade econômica da região  
sudeste**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Agnelo Marotta Cassula

Guaratinguetá - SP  
2020

A internet das coisas aplicado às smart grids: estudo da viabilidade econômica da região sudeste

O48i Oliveira, João Pedro Mathidios de  
A Internet das coisas aplicado às smart grids: estudo da viabilidade econômica da região sudeste / João Pedro Mathidios de Oliveira – Guaratinguetá, 2021.  
81 f. : il.  
Bibliografia : f. 78-80

Trabalho de graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021. Orientador: Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula

1. Redes inteligentes de energia. 2. Internet das coisas.  
3. Tecnologia de ponta. I. Título.

CDU 62

Luciana Máximo

Bibliotecária-CRB-8/3595


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

A INTERNET DAS COISAS APLICADO ÀS SMART GRIDS:  
ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA REGIÃO SUDESTE

**JOÃO PEDRO MATHIDIOS DE OLIVEIRA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO  
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUANDO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA

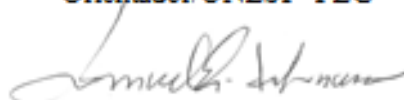


Prof. Dr. Daniel Julien B. da S. Sampaio  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula  
Orientador/UNESP FEG



Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena  
UNESP FEG



Prof. Dr. Daniel Julien B. da S. Sampaio  
UNESP FEG

MARÇO, 2021

Dedico este trabalho, de modo especial, à minha família, principalmente aos meus pais, Luís e Rogéria, por todo apoio e incentivo aos meus estudos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela família que tenho, pela minha saúde, pelo caminho que trilhei e pela educação que pude ter ao longo de minha jornada.

Agradeço aos meus pais que sempre me incentivaram a buscar meus sonhos, trabalharam e trabalham muito para poder dar uma vida boa e confortável para mim e para meus irmãos, agradeço, também, pelo incentivo aos estudos e por todos os ensinamentos que me dão.

Agradeço ao meu professor e orientador, *Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula* que sempre cumpriu com seu papel de professor com excelência, através de aulas didáticas e com temas muito relevantes para a minha formação, assim como, pela ajuda e conselhos com meu trabalho de graduação.

Agradeço aos demais professores que me orientaram e me ensinaram muito durante toda a faculdade, mostrando-se professores de ótima reputação pela entrega que fazem em aulas e por todo o esforço para com os alunos.

Agradeço a todos os funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá por todo o esforço e dedicação para manter a faculdade em ótimas condições e pelo auxílio aos alunos e professores.

Agradeço aos meus colegas de classe por toda a ajuda com as diferentes matérias, por compartilhar seus conhecimentos e por partilhar dos momentos felizes e dos momentos difíceis.

“Loucura é fazer a mesma coisa repetidamente  
e esperar resultados diferentes.”  
Albert Einsten

## RESUMO

Desde sua invenção, a energia elétrica permitiu grandes avanços na indústria e possibilitou a criação de uma rede capaz de abastecer todo tipo de consumidor. Atualmente, através de sua utilização, é possível notar a constante evolução dos diferentes tipos de tecnologia, a qual tem permitido o estudo, desenvolvimento e aplicação de temas como Indústria 4.0, rede 5G, Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) e Redes Inteligentes (Smart Grids). Este trabalho aborda os temas de Internet das Coisas e Redes Inteligentes com o intuito de esclarecer a necessidade de implementação desse tipo de rede ao invés da rede convencional de energia elétrica. Tem como foco demonstrar a conexão entre os dois temas, expondo como as Redes Inteligentes só são possíveis com o desenvolvimento da Internet das Coisas. Enfatiza o tema dos medidores inteligentes como um dos grandes diferenciais das Smart Grids, demonstrando também a tecnologia IoT (Internet of Things) envolvida. Evidencia a mudança da visão do consumidor ao incluí-lo como parte estratégica do negócio. Por fim, há um estudo financeiro que esclarece o investimento necessário para a implantação da Rede Inteligente sob a visão de concessionária e de cliente final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes inteligentes. Internet das coisas. Medidores inteligentes. Gerenciamento por parte do consumidor. Estudo financeiro das redes inteligentes.



## ABSTRACT

Since its invention, electrical energy has allowed great advances in the industry and has enabled the creation of an electrical grid capable of supplying all types of consumers. Nowadays, through its use, it is possible to perceive the constant evolution of the different types of technology, which has allowed the study, development and the application of themes such as Industry 4.0, 5G network, Internet of Things and Smart Grids. This paper addresses the topics of Internet of Things and Smart Grids in order to clarify the need for the implementation of this type of network instead of the conventional electrical grid. It focuses on demonstrating the connection between the two themes, exposing how Smart Grids are only possible with the development of the Internet of Things. It emphasizes the smart meters theme as one of the greatest differentials of Smart Grids, also demonstrating the IoT (Internet of Things) technology involved. It evidences the change in the consumer's vision by including it as a strategic part of the business. Finally, there is a financial study that clarifies the investment required for the implementation of the Smart Grid in the point of view of the energy provider and the final customer.

**KEYWORDS:** Smart grids. Internet of things. Smart meters. Consumer management. Financial study of smart grids.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede elétrica atual.....	16
Figura 2 – Rede elétrica inteligente.....	18
Figura 3 – Investimento, em bilhões de dólares, em smart grid na China por tecnologia.....	20
Figura 4 – Localização das PMU's e PDC's na região norte da Índia .....	23
Figura 5 – Smart Metering Management.....	26
Figura 6 – Smart Utilities Board.....	27
Figura 7 – Mostrador Inteligente Light .....	29
Figura 8 – Mundo Físico x Mundo da Informação.....	31
Figura 9 – Hardware IoT .....	33
Figura 10 – Fluxo de informações na smart grid.....	36
Figura 11 – Paradigmas de comunicação .....	43
Figura 12 – Evolução da IoT no smart grid.....	43
Figura 13 – Evolução dos processos de manutenção em smart grid a partir da IoT .....	45
Figura 14 – Perdas sobre a energia distribuída.....	48
Figura 15 – Medidor eletromecânico analógico .....	50
Figura 16 – Medidor inteligente SMW.....	51
Figura 17 – Medidor inteligente E450.....	52
Figura 18 – Medidor Inteligente NSXi.....	53
Figura 19 – Tarifa convencional x Tarifa branca .....	56
Figura 20 – Redução de picos.....	59
Figura 21 – Preenchimento de vales.....	60
Figura 22 – Transferência de carga.....	61
Figura 23 – Conservação estratégica .....	62
Figura 24 – Crescimento estratégico da carga .....	63
Figura 25 – Curva de carga flexível .....	63
Figura 26 – Consumidores por região geográfica (a cada mil UC's).....	69
Figura 27 – Curva de carga média da região sudeste ao longo de um dia.....	71
Figura 28 – Perfil de consumo favorável a utilização da tarifa convencional.....	72
Figura 29 – Perfil de consumo onde não há distinção no valor da conta .....	73
Figura 30 – Perfil de consumo favorável a utilização da Tarifa Branca.....	74
Figura 31 – Comparativo de Curvas de Carga .....	75

## LISTA DE TABELAS E QUADRO

Quadro 1 – Comparação dos protocolos IPv4 e IPv6.....	34
Tabela 1 – Investimento, por item, em medidores inteligentes .....	68
Tabela 2 – Investimento Total em smart meters na Região Sudeste.....	69
Tabela 3 – Valores tarifários de energia (Consumo + ICMS).....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alternating Current
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMM	Advanced Meter Management
AMR	Automated Meter Reading
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BESCOM	Bangalore Electricity Supply Company
CPU	Central Process Unit
CSG	China Southern Power Grid
DC	Direct Current
GIS	Geographic Information System
GLD	Gerenciamento Pelo Lado da Demanda
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
HAN	Home Area Network
IA	Inteligência Artificial
IEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IETF	Internet Engineering Task Force
IHD	In Home Display
IoT	Internet of Things ou Internet das Coisas
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ISM	Industrial Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Networks
MDM	Meter Data Management
NAN	Neighborhood Area Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDC	Phasor Data Concentrator
PIN	Personal Identification Number
PLC	Power Line Communication
PLC	Programmable Logic Controller
PMU	Phasor Measurement Units
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RAPDRP	Restructured Accelerated Power Development and Reforms Programme
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SG	Smart Grid
SGCC	State Grid Corporation of China
SINPHA	Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo
SMM	Smart Metering Management
SMW	Smart Meter WEG
TCP	Transmission Control Protocol
TI	Tecnologia da Informação
UC	Unidade Consumidora
UHV	Ultra High Voltage
WAMS	Wide Area Monitoring Systems
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1	REDE DE ENERGIA CONVENCIONAL .....	15
2.2	REDE INTELIGENTE (SMART GRID).....	16
2.3	PROJETOS DE SMART GRID PELO MUNDO .....	19
<b>2.3.1</b>	<b>China</b> .....	19
<b>2.3.2</b>	<b>Estados Unidos</b> .....	21
<b>2.3.3</b>	<b>Índia</b> .....	22
2.4	PROJETOS DE SMART GRID NO BRASIL .....	24
<b>2.4.1</b>	<b>Projeto Piloto em Barueri</b> .....	25
<b>2.4.2</b>	<b>Projeto Piloto InovCity (Aparecida – SP)</b> .....	25
<b>2.4.3</b>	<b>Projeto Piloto em Curitiba</b> .....	27
<b>2.4.4</b>	<b>Projeto Piloto no Rio de Janeiro</b> .....	28
<b>3</b>	<b>INTERNET DAS COISAS</b> .....	30
3.1	ARQUITETURA IOT .....	31
3.2	OBJETOS INTELIGENTES .....	32
3.3	CONCEITOS DE COMUNICAÇÃO EM IOT.....	35
<b>3.3.1</b>	<b>Camadas de Rede</b> .....	36
<b>3.3.2</b>	<b>Protocolos de Comunicação</b> .....	37
3.3.2.1	GPRS (General Packet Radio Service).....	37
3.3.2.2	PLC (Power Line Communication).....	38
3.3.2.3	ZigBee.....	39
3.3.2.4	Z – Wave.....	40
3.3.2.5	Transmissão Concentrada .....	41
<b>3.3.3</b>	<b>Paradigmas de Comunicação</b> .....	42
3.4	IOT APLICADO AS SMART GRIDS .....	43
<b>4</b>	<b>MEDIDORES INTELIGENTES (SMART METERS)</b> .....	47
4.1	APLICAÇÕES.....	47
<b>4.1.1</b>	<b>Detecção de Furtos de Energia</b> .....	48
<b>4.1.2</b>	<b>Detecção de Falhas</b> .....	49

4.1.3	<b>Relé de Corte e Religa</b> .....	49
4.1.4	<b>Leitura Bidirecional</b> .....	49
4.2	TIPOS DE MEDIDORES .....	50
4.3	EXEMPLOS DE MEDIDORES INTELIGENTES .....	51
4.4	PLATAFORMAS DE GERENCIAMENTO .....	53
4.5	TARIFAÇÃO .....	55
4.5.1	<b>Modalidade Convencional</b> .....	55
4.5.2	<b>Modalidade Branca</b> .....	56
5	<b>ANÁLISE DE CONSUMO PELO CONSUMIDOR FINAL</b> .....	58
5.1	GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA.....	58
5.1.1	<b>Redução de Picos</b> .....	59
5.1.2	<b>Preenchimento de Vales</b> .....	60
5.1.3	<b>Transferência de Carga</b> .....	60
5.1.4	<b>Conservação Estratégica</b> .....	61
5.1.5	<b>Crescimento Estratégico da Carga</b> .....	62
5.1.6	<b>Curva de Carga Flexível</b> .....	63
5.2	PRINCIPAIS EFEITOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO GLD .....	64
6	<b>INVESTIMENTO E RETORNO EM SMART METERS</b> .....	65
6.1	INVESTIMENTO NECESSÁRIO.....	65
6.1.1	<b>Medidor Inteligente (Aquisição + Instalação)</b> .....	65
6.1.2	<b>In Home Display + Rede HAN</b> .....	66
6.1.3	<b>Infraestrutura de Telecomunicações</b> .....	66
6.1.4	<b>Infraestrutura de Automação</b> .....	67
6.1.5	<b>Infraestrutura de TI</b> .....	67
6.2	TARIFA CONVENCIONAL x TARIFA BRANCA.....	70
6.3	ANÁLISE DA REGIÃO SUDESTE .....	71
6.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE .....	75
7	<b>CONCLUSÃO</b> .....	77
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	78
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	81

## 1 INTRODUÇÃO

É nítida a crescente demanda por energia nas últimas décadas, consequência do crescimento populacional, do desenvolvimento de novas tecnologias, da automação de processos e de soluções inovadoras para o aumento da utilização de fontes energéticas limpas e renováveis como, por exemplo, a expansão dos carros elétricos.

Diante do cenário atual, é de extrema importância a adaptação da rede elétrica convencional para uma rede elétrica inteligente, composta de tecnologias que possibilitem que a rede seja mais eficiente, evite desperdícios, diminua seu tempo de resposta a falhas e possibilite a descentralização da geração de energia.

A implementação de uma rede inteligente se baseia, em grande parte, no desenvolvimento da tecnologia IoT, devido à necessidade de se utilizar de objetos inteligentes para o controle do sistema, desse modo, medidores inteligentes, pequenos aparelhos de geração de energia residencial, gateways e a própria central necessitam de IoT para que seja possível a comunicação e transferência de dados do consumidor até seu fornecedor ou vice-versa.

O estudo e desenvolvimento das redes inteligentes tem sido foco, nos últimos anos, de vários países, que já notaram a importância da implementação da rede para melhoria da qualidade da energia entregue, o que, como consequência, possibilitará a contínua evolução de novas tecnologias para os diversos setores, diminuirá o impacto ao meio ambiente e possibilitará que o sistema elétrico amplie sua visão estratégica ao entrar, de vez, no mundo dos dados digitais.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A principal motivação para a realização desse trabalho deve-se à percepção da limitação da rede elétrica convencional frente aos diversos avanços em diferentes setores e que, conseqüentemente, necessitam de maior complexidade da rede elétrica para atuarem de forma eficiente.

O estudo de redes inteligentes é necessário uma vez que o mundo está voltado para a aplicação de tecnologias que ampliem a automação dos processos, sua eficiência e agilidade.

Além disso, é de conhecimento geral que o bem mais precioso atualmente é a informação, a partir do qual pode-se fazer previsões, ampliar estratégias de negócio, entender a necessidade de modificações ou ampliação da estrutura de uma empresa. A informação é cada vez mais essencial no sistema elétrico, uma vez que permite entender as perdas, conhecer o padrão de

consumo dos clientes, prever possíveis alterações nas malhas da rede, evitar o superdimensionamento de equipamentos que atendam aos momentos de pico de demanda, entre outros.

## 1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O presente capítulo introduziu o tema de redes inteligentes, bem como a necessidade do estudo da internet das coisas, justificando o estudo dessa frente ao evidenciar as divergências entre demanda atual e o sistema elétrico existente na maioria dos países.

O segundo capítulo é composto de uma abordagem histórica sobre redes inteligentes, evidenciado o desenvolvimento, pesquisas e projetos sobre o tema ao redor do mundo, assim como trazendo detalhes de sua implantação no Brasil.

O terceiro capítulo é voltado para a compreensão da Internet das Coisas, trazendo clareza sobre a tecnologia, sua arquitetura, os protocolos de comunicação e já envolvendo o tema com as redes inteligentes.

O quarto capítulo é designado para o estudo dos medidores inteligentes, de forma a mostrar seus benefícios frente aos medidores convencionais, entender as vantagens de seu uso no sistema elétrico, apresentar alguns modelos já existentes e evidenciar a questão tarifária do consumo de energia.

O quinto capítulo tem como foco evidenciar os benefícios da implantação dos medidores inteligentes para os consumidores e demonstrar como o consumidor passará a ser parte essencial na estratégia de negócio.

O sexto capítulo trata-se de um estudo financeiro sobre redes inteligentes, abordando o investimento necessário para a aquisição e instalação dos medidores inteligentes, também traz uma análise de perfis de consumo à partir de uma nova tarifação, detalha os motivadores da execução do projeto, assim como as consequências para as empresas envolvidas, bem como para a população e meio ambiente.

Por fim, o sétimo capítulo traz reflexões sobre todos os temas levantados, reforça a necessidade do estudo e execução de projetos sobre redes inteligentes e evidencia o quão benéfico será a utilização desse novo sistema elétrico.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por mais que possa parecer nítido a necessidade da utilização das redes inteligentes ao passar dos anos, é necessária a abordagem sobre a rede atual para evidenciar o quão divergente a rede convencional se encontra em relação a outras diversas tecnologias. Para isso, serão levantados temas relevantes dentro das redes convencionais e como suas funcionalidades serão alteradas com a implantação das redes inteligentes.

### 2.1 REDE DE ENERGIA CONVENCIONAL

A rede elétrica atual foi desenvolvida há muitos anos com o intuito de conectar as fontes de energia aos consumidores, dessa forma o sistema foi subdividido em geração, transmissão e distribuição de energia, com a intenção de permitir que toda energia gerada através das diversas fontes energéticas (petróleo, hidrelétrica, biomassa, gás natural, entre outros) fossem entregues aos consumidores.

Por conta de ter sido criada há muitos anos, a malha elétrica além de permitir apenas um caminho (fonte geradora para cliente), possui baixo tempo de resposta à falhas, visto que muitas vezes a falha só é identificada após ligações de clientes reclamando de falta de energia, possui equipamentos que não condizem com as tecnologias atuais tampouco possuem processos automatizados.

Além disso, deve-se destacar a quantidade de perdas técnicas e não técnicas presentes na rede atual. As perdas técnicas estão vinculadas ao transporte da energia nas malhas de alta, média e baixa tensão e a eficiência dos equipamentos como transformadores e disjuntores, por exemplo. Já as perdas não técnicas são as perdas relacionadas a furtos de energia e fraudes nos medidores de energia.

Pode-se dizer que o medidor eletromecânico representa muito bem as capacidades da rede elétrica atual, isso porque os medidores eletromecânicos são contadores que medem a quantidade de energia consumida, mas que dependem de um leiturista para que as medições sejam obtidas. A utilização de medidores eletromecânicos aumenta a possibilidade de perdas, uma vez que a contagem não é totalmente precisa, assim como conta com taxas de erros por parte dos leituristas.

Outro ponto importante é o comportamento estratégico das empresas envolvidas quanto às previsões de falhas na malha elétrica. Uma vez que não há uma comunicação eficaz ao longo da malha elétrica, as previsões de falhas e erros ficam limitadas ao acúmulo de falhas e erros

em uma determinada região, assim, por exemplo, fica-se entendido que as alterações necessárias na malha elétrica seguem uma ordem de prioridade de acordo com o número de vezes em que uma área foi atendida.

Figura 1 – Rede Elétrica Atual



Fonte: Moya (2018).

Na Figura 1 pode-se observar o sistema atual da rede elétrica, que tem seu início nas unidades geradoras capazes de converter as fontes energéticas em energia elétrica, a qual é transformada e enviada ao sistema de transmissão responsável pelo transporte da energia em alta tensão. Após isso, a energia passa pelas subestações distribuidoras, responsáveis por baixar a tensão para média e baixa tensão e que, posteriormente, são enviadas pelo sistema de distribuição até os consumidores. A Figura 1 demonstra a unilateralidade da malha elétrica seguindo o caminho, geração até o consumo, o que é a causa, atualmente, de muitos problemas da rede, principalmente em momentos que necessitam de ampliação da quantidade de energia gerada.

## 2.2 REDE INTELIGENTE (SMART GRID)

As dificuldades apresentadas anteriormente, presentes na rede elétrica atual, como, por exemplo, a alta taxa de perdas, principalmente as não técnicas, o caminho unilateral da rede, os medidores convencionais pouco eficientes, o tempo alto de resposta à falhas, entre outros,

podem ser contornados com a implantação das Redes Inteligentes ou, como é mais conhecida, Smart Grids.

As Smart Grids podem ser entendidas como a aplicação de um conjunto de tecnologias envolvendo as áreas de comunicação, automação, engenharia e outros que sejam destinados ao aprimoramento da rede elétrica, de forma a ampliar a integração da rede, permitindo o monitoramento e gerenciamento da rede através da geração de informações, permitindo novas perspectivas como geração distribuída, assim como outras funcionalidades que permitem uma maior confiabilidade da rede, maior eficiência energética e a ampliação da utilização de fontes renováveis de energia, por exemplo.

Ao longo dos últimos anos, com a ampliação de fontes de energia renováveis, houve o fenômeno de descentralização das fontes geradoras de energia, embora a centralização ainda seja muito significativa. A implantação de fontes de energia renováveis em residências, comércios e até mesmo indústria tem crescido ao longo dos últimos anos e esse fenômeno permitiu o surgimento dos microgeradores de energia, assim os consumidores que antes eram apenas clientes agora passam a ser, também, fornecedores de energia.

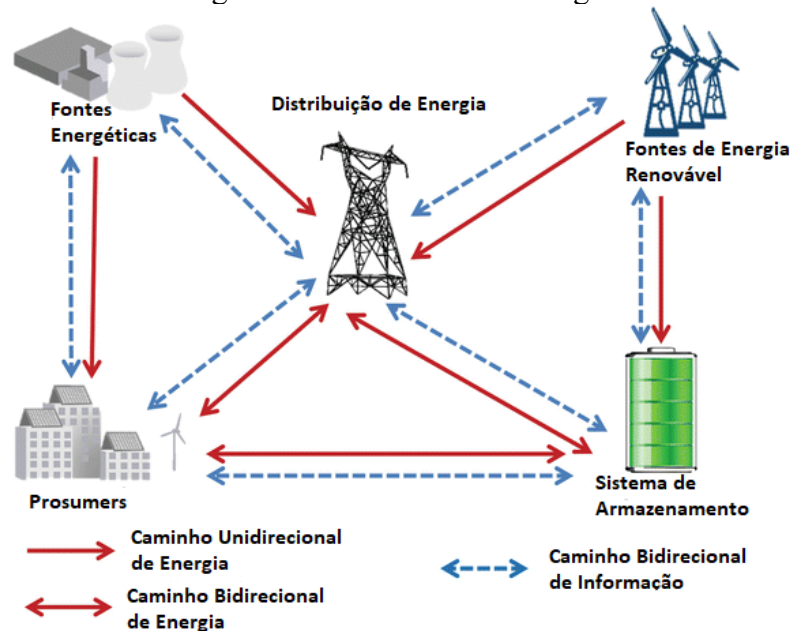
A descentralização das fontes de energia é de extrema importância, uma vez que reduz a necessidade de geração de energia pelas empresas envolvidas, diminuindo a perspectiva de ampliação estrutural, permitindo que os equipamentos não trabalhem em sua capacidade produtiva máxima, o que aumenta a vida útil do equipamento, e também possibilita a diminuição das perdas, já que o caminho percorrido para a entrega da energia diminui (fontes energéticas presentes próximos aos consumidores).

Os projetos de implantação de fontes de energia residenciais já existem e permitem a transferência de energia para a rede quando há geração de energia residencial, porém, isso só pôde se tornar real através da utilização de tecnologias IoT, e que também estão presentes nas redes inteligentes, já que é necessário a utilização de equipamentos que garantam o caminho bidirecional de energia. Dessa forma através de medidores inteligentes tornou-se possível a captação de energia da rede e o envio de energia para a mesma, o que gerou o termo prosumers (prosumidores), para indicar que o consumidor agora também pode ser um produtor de energia elétrica.

O estudo das redes inteligentes ganha força com a evolução da tecnologia IoT, pois grande parte do tema se baseia em objetos inteligentes que permitam controlar e monitorar a malha elétrica. Tais objetos como o medidor inteligente, permite que possíveis falhas sejam identificadas em tempo real, o consumo seja estudado de acordo com regiões, o perfil do cliente seja compreendido, as perdas possam ser controladas e muitas outras funcionalidades.

Uma vez que as redes inteligentes se tornem reais, o setor elétrico passará a contar com diversos tipos de dados obtidos desde a geração até o consumidor, o que possibilitará novas estratégias de negócio, bem como previsões mais assertivas.

Figura 2 – Rede Elétrica Inteligente



Fonte: Adaptado de Klaimi, Amoud e Bolahia (2017).

A Figura 2 exemplifica o sistema elétrico inteligente de modo a evidenciar a principal diferença entre essa e a rede convencional: o caminho ou percurso da energia elétrica. Na rede convencional há apenas o caminho unidirecional (geração para consumo), já a rede inteligente permite caminhos diversos para a energia, uma vez que a geração de energia se torna mais descentralizada.

A possibilidade de diversos caminhos para o percurso da energia possibilita que um possível corte de energia em certa região, por exemplo, possa ser corrigido apenas com uma nova rota para a energia, o que diminui o impacto da queda de energia de forma temporária até que a correção do erro seja feita.

Vale ressaltar que o modelo de redes inteligentes permite tanto um fluxo bidirecional de energia quanto um fluxo bidirecional de informação. Dessa maneira, é possível notar que os prosumers poderão enviar energia novamente a rede de distribuição, por exemplo, mas também poderão se comunicar com as outras partes que compõem o sistema. A transmissão de informações é possível graças a central de controle que através da coleta de informações de todo o sistema permite que a mesma se comporte de forma harmoniosa.

## 2.3 PROJETOS DE SMART GRID PELO MUNDO

Muitas regiões do globo já notaram a importância da modernização de seus sistemas elétricos com a finalidade de reduzir a perda de energia, possibilitar a ampliação do uso de fontes renováveis, reduzir o consumo de energia e atender metas referentes a preservação ambiental.

Alguns países se destacam pelos projetos e aportes financeiros para o avanço das redes inteligentes, dentre eles valem destacar os países: China, Estados Unidos, Índia, França, Alemanha, Brasil, Espanha, Reino Unido, Japão e Coreia do Sul.

### 2.3.1 China

Por conta do apoio governamental e de grandes investimentos em pesquisa, a China se destaca quando o assunto é redes inteligentes. Mesmo com os projetos de smart grid muito mais evoluídos que em comparação a outros países, a China continua a investir no setor e, ainda, tem como metas incluir a rede 5G nos projetos e ampliar a utilização de inteligência artificial.

Para que as tecnologias 5G e IA, pudessem ser incorporadas as redes inteligentes, a State Grid Corporation of China (SGCC) lançou o plano de ação conhecido como Ubiquitous Power Internet of Things, que conta com 57 projetos de construção e 25 projetos pilotos com estimativa de serem finalizados até o ano de 2024 (ASIAN POWER, 2020).

Ao mesmo tempo, em que inúmeros projetos do setor já estão sendo executados, a China ampliou seus investimentos com a criação do projeto 5G Smart Grid Pilot em parceria com a China Southern Power Grid (CSG), a China Mobile e a Huawei. A utilização da tecnologia 5G no setor elétrico trará melhorias nas comunicações de dados, permitirá o gerenciamento de energia de forma eficiente e precisa, aumentará as possibilidades de automação da distribuição de energia, além, principalmente, de entregar dados precisos sobre consumo, carga, falhas e qualidade da energia (ASIAN POWER, 2020).

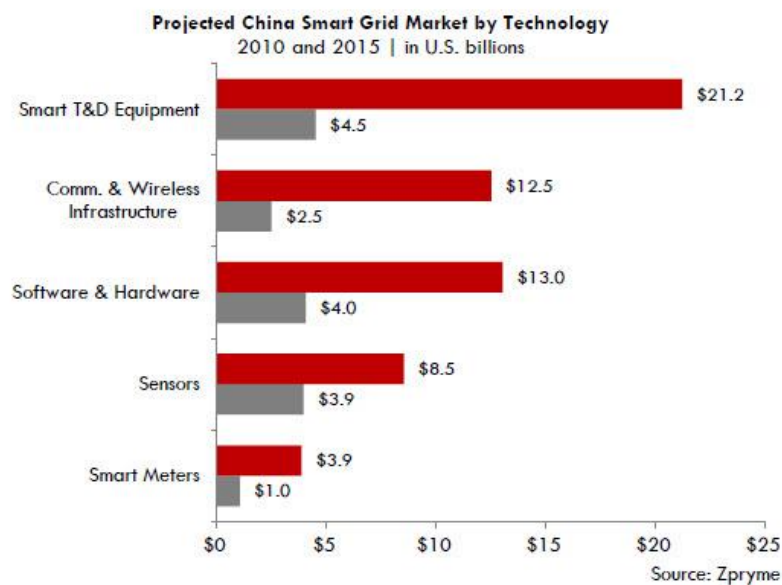
Como exemplo da aplicação de IA nas redes inteligentes, a cidade de Tianjin utiliza, de forma complementar a sua rede de energia, uma rede de ultra alta tensão (UHV) que, por conta de suas características, permitirá a transmissão de energia em maiores distâncias do que a rede de alta tensão e a aplicação de tecnologias IoT no setor.

Alguns dos projetos da China que já o colocam como líder no ramo de smart grid trazem como resultados a instalação de mais de 400 milhões de medidores inteligentes atingindo 100%

do território do país, além de possuir a maior rede de serviço de carga de bateria de veículos elétricos do mundo.

Enquanto muitos países se esforçam em apresentar projetos para a instalação de medidores inteligentes, a China já passou dessa fase e agora busca instalar medidores inteligentes de infraestrutura de medição avançada (AMI) em larga escala, além de liderar o crescimento de energias renováveis, como a energia solar e eólica, adicionando cerca de 557GW de potência até o ano de 2029.

Figura 3 – Investimento, em bilhões de dólares, em smart grid na China por tecnologia



Fonte: Jung, Langston e Sayers (2011).

A Figura 3 evidencia a ampliação de investimentos em smart grid na China entre os anos de 2010 (evidenciado em cinza) e 2015 (evidenciado em vermelho), como pode ser visto, a transmissão e distribuição de energia, que possui o maior aporte de investimento, tinha como meta o aumento do investimento em cerca de 15,7 bilhões de dólares durante os 5 anos.

E enquanto as empresas de serviços públicos nos Estados Unidos estão tentando modernizar sua infraestrutura com tecnologia de rede inteligente, a China construirá essa tecnologia em uma série de novas redes de transmissão. As novas linhas de energia devem atingir 20 GW de capacidade até 2020 e incluir a primeira linha de energia alternada de 1.000 kV do mundo (WILNER, 2011).

Outro ponto importante que vale ser citado é que o investimento em medidores inteligentes, grande foco dos projetos atuais ao redor do mundo, deve ser o menor dos investimentos quando se analisa a tecnologia smart grid como um todo.

### 2.3.2 Estados Unidos

Os Estados Unidos se destacam, atualmente, como o país com o mercado de infraestrutura de redes inteligentes mais avançado até o momento, de acordo com empresas de pesquisa. Entre 2010 e 2015, cerca de US\$ 8 bilhões foram investidos em smart grid através do programa Smart Grid Investment Grant, sendo que mais de 50% do investimento foi destinado ao desenvolvimento de infraestrutura de medição avançada (AMI). O investimento feito nesse período foi destinado, entre outras coisas, a apoiar 99 projetos de smart grid auxiliando em cerca de 50% dos custos de cada projeto (NHEDE, 2018).

Espera-se que até o final da próxima década cerca de US\$ 110 bilhões sejam investidos em projetos relacionados a smart grid, e que cerca de US\$ 12,8 bilhões sejam destinados apenas ao desenvolvimento de AMI.

O tema é tão relevante que tanto o governo federal quanto os estaduais, assim como empresas privadas e públicas e até mesmo organizações ambientais têm demonstrado apoio ao desenvolvimento da smart grid no país, seja através de doações e empréstimos para o desenvolvimento de pesquisas e projetos ou também pela comercialização das tecnologias em produção.

Vale destacar que por conta de os governos estaduais serem mais autônomos que em outros países, o desenvolvimento das redes inteligentes ganha destaque em algumas regiões. O Estado de Nova York, por exemplo, têm sido destaque no desenvolvimento de tecnologias para redes inteligentes, através da Autoridade de Pesquisa e Desenvolvimento Energético do Estado de Nova York, ao investir bilhões de dólares em inovação de tecnologias de rede inteligente (NHEDE, 2018).

Para que as redes inteligentes pudessem se desenvolver, os Estados Unidos tomaram iniciativa ao criar políticas regulatórias de suporte à smart grid. Tais políticas permitiram que as concessionárias do país tomassem frente nas ações de desenvolvimento da tecnologia.

Durante o governo Obama foi criado o Plano de Energia Limpa que tinha como meta ampliar o uso de recursos renováveis como fonte de energia, o que necessitou de novos estudos para que fosse possível garantir energia aos consumidores, uma vez que as fontes de energia renováveis tem um alto grau de flutuação.

Mais uma vez, os medidores inteligentes se mostraram benéficos na garantia da demanda de energia mesmo com a flutuação que ocorre nas fontes energéticas renováveis, isso deve-se a alta precisão dos medidores que disponibilizam inúmeras informações as concessionárias,

permitindo um plano estratégico sólido para se utilizar das fontes de energia renováveis sem encontrar obstáculos em relação à demanda.

De acordo com publicação de Nhede (2018), até janeiro de 2017 cerca de 75 milhões de consumidores já contavam com medidores inteligentes.

Os próximos anos devem contar com o crescimento da automação da distribuição no setor de smart grid, esse crescimento deve-se as expectativas de que a rede elétrica se torne “independente” ao ser capaz de identificar, notificar e corrigir as falhas de forma automática.

O grande obstáculo para a ampliação da smart grid no país é o fato das políticas regulamentárias serem adotadas por Estado, o que permitiu que alguns Estados como Illinois, Califórnia e Nova York se destaquem como pioneiros na tecnologia, enquanto outros Estados ainda estejam receosos com o tema.

### **2.3.3 Índia**

Por mais que a Índia seja um país subdesenvolvido e com uma série de problemas econômicos e sociais, não lhe falta esforço quando o assunto é redes inteligentes. O país possui um sistema de energia interligado entre regiões que permite uma distribuição contínua de energia entre diversas áreas, porém o país sofre com altos números de apagões resultantes da insuficiência de potência reativa nas linhas de transmissão, o que causa variações bruscas na voltagem que impedem o transporte da energia ativa no sistema, falta de monitoramento e medidas preventivas, equipamentos pouco precisos e o erro humano envolvido, sem considerar os apagões causados por causas naturais.

Além dos apagões, que causam grandes perdas financeiras, o sistema elétrico indiano ainda conta com uma estrutura ineficiente que gera baixa qualidade de energia. Ao notar que a estrutura da rede elétrica indiana necessitava de reparos, o governo indiano deu início a algumas reformas com programas como Indian Electricity Act 2003 e RAPDRP que tinham como objetivo trazer melhorias ao gerenciamento do lado da distribuição de energia (RIHAN & AHMAD, 2011).

Ao mesmo tempo, os projetos de smart grid se desenvolviam pelo mundo e, como consequência, o governo indiano notou a necessidade de implantar as tecnologias de smart grid no país para tornar a estrutura da rede elétrica mais confiável, possibilitar autocorreções do sistema, tornar a rede elétrica adaptativa e econômica.

A fim de iniciar os projetos de smart grid no país, deu-se início ao India Smart Grid Forum que tinha como objetivo ampliar as descobertas envolvendo tecnologia, regulamentos, políticas,

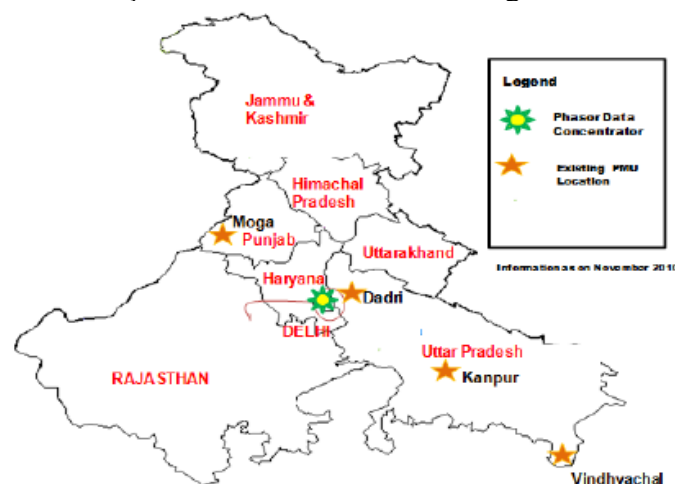


programas-pilotos e outras ações a partir da participação da indústria e das concessionárias de energia.

Um dos projetos-piloto de destaque foi o desenvolvido na região norte do país que consistiu em instalar unidades de medição fasorial (PMU) e relógio GPS em quatro subestações (RIHAN & AHMAD, 2011). O PMU é um equipamento capaz de medir fasores de tensão e corrente nos sistemas de potência de forma sincronizada (Andrade, 2008).

A utilização de PMUs nas redes elétricas inteligentes é um passo importante no desenvolvimento da tecnologia, pois aumenta a precisão na medição do estado de uma rede. Além disso, um sistema baseado em PMU permite diminuir o tempo de execução de ações visando reparar a rede, assim como, caso o sistema conte com PMUs ao longo de toda a rede, é possível aumentar a capacidade de transferência de energia das linhas (RIHAN & AHMAD, 2011).

Figura 4 – Localização das PMU's e PDC's na região norte da Índia



Fonte: Rihan & Ahmad (2011).

Na Figura 4 é possível identificar os locais em que foram instalados as PMUs e o Phasor Data Concentrator, que é responsável por receber e sincronizar dados fasoriais das diversas unidades de medição fasorial, além disso, sua utilidade pode ser ampliada com a instalação de outros PDCs, ao longo do sistema elétrico, permitindo a comunicação de dados fasoriais através de todo sistema elétrico.

Outro projeto de grande destaque é o impulsionado pela Power Grid Corporation que visa introduzir a tecnologia WAMS na região oeste, responsável por distribuir energia para muitas outras regiões, de modo a garantir a segurança e proteção da rede. O projeto de sistema de

medição de área ampla (WAMS), desenvolvido pela Power Grid Corporation, tem como objetivos:

- Desenvolver algoritmos para posicionamento ótimo de PMUs;
- Instalação de cerca de 30 PMUs ao longo da Região Oeste;
- Utilizar os dados gerados pelas PMUs para determinar o estado da rede de forma dinâmica;
- Desenvolver softwares que deem suporte aos dados gerados.

Já o projeto-piloto BESCO (Bangalore Electricity Supply Company) foi pioneira no estudo da automação da distribuição. O projeto que prevê, de acordo com Rihan e Ahmad (2011), uma área de atuação que compreende 17.409 consumidores e um investimento de cerca de US\$ 1,35 milhões têm entre suas metas:

- Redução de pico e precificação sobre a hora de uso para ajuste de carga;
- Integração da geração de energia tradicional e da energia renovável;
- Oferecimento de diferentes tarifas aos consumidores;
- Redução de perdas técnicas e não técnicas;
- Melhoria da qualidade de energia e autorrecuperação da rede.

Muitos outros projetos estão em andamento no país e, por mais que o investimento não chegue próximo a países como os Estados Unidos e China, já é possível notar que até mesmo países subdesenvolvidos notaram a importância da tecnologia para os sistemas elétricos e como sua aplicação pode resultar na ampliação da importância econômica do país.

## 2.4 PROJETOS DE SMART GRID NO BRASIL

As redes de energia elétrica brasileiras possuem uma infraestrutura defasada. O país sofreu muitos apagões nos últimos anos e o prejuízo com perdas não-técnicas (fraude, furto, falta de medidores nas residências, entre outros) ultrapassa R\$8 bilhões por ano (ANEEL, 2011).

Por mais que o Brasil possua um sistema elétrico capaz de atender todas as regiões do país, é notável que o sistema possui altas perdas não técnicas e falhas periódicas, consequência de um sistema obtuso cercado de equipamentos que não possuem todas as tecnologias de sensoriamento e atuação que já se encontram em comercialização.

Além disso, a demanda por energia continua em crescimento constante que muitas vezes vem acompanhado da ampliação das usinas geradoras. Tais alterações e ampliações energéticas

não são acompanhadas de manutenções e reformas da rede elétrica que permitam que o sistema elétrico trabalhe em harmonia.

Por conta de todas as dificuldades enfrentadas no sistema atual que governo, empresas privadas e públicas vêm investindo, ao longo dos últimos anos, nas tecnologias que permitam a implantação de uma rede elétrica inteligente no país.

#### **2.4.1 Projeto Piloto em Barueri**

Um dos projetos piloto realizados no país é o da cidade de Barueri, localizado na Grande São Paulo, que conta com cerca de 270 mil habitantes e é atendido pela AES Eletropaulo.

Embora as perdas na distribuição de energia dos municípios atendidos pela AES Eletropaulo sejam cerca de 3,5 a 4%, relativamente baixas se comparada à média das perdas no país, a intenção é diminuir ainda mais esse número, e para isso se faz necessário criar obstáculos ao furto de energia, problema muito presente no país.

O projeto consiste na instalação de 62 mil medidores inteligentes na cidade, ao custo médio de R\$700,00 cada, contando com um investimento total de cerca de R\$75 milhões, aplicado nos medidores inteligentes e em redes de telecomunicações (SANTOS, 2017). É importante ressaltar que a implantação de medidores inteligentes deve ser acompanhada de um longo estudo sobre tecnologias envolvendo o setor de telecomunicações que permitam que o medidor desempenhe seu papel de dispositivo inteligente.

No projeto-piloto de Barueri, a AES Eletropaulo utilizou de redes RFMesh e PLC no medidor inteligente, permitindo a captação dos dados dos usuários. É importante destacar que as redes 3G e 4G também atenderiam bem ao projeto, porém a falta de cobertura da rede em todos os locais com medidores inteligentes presentes impossibilitou o uso desse tipo de rede.

A empresa também se utiliza do projeto-piloto para compreender outros pontos importantes como questões de segurança e criptografia dos medidores inteligentes, assim como desenvolver interfaces para os usuários, pontos esses que possibilitem novos projetos futuros.

#### **2.4.2 Projeto Piloto InovCity (Aparecida – SP)**

O projeto InovCity é uma iniciativa da EDP Bandeirantes em parceria com a prefeitura da cidade de Aparecida – SP, cidade turística que conta com 1% do total de clientes da EDP Bandeirantes, que tem o intuito de ampliar a eficiência energética e possibilitar a racionalização do uso da energia (MARCONDES, 2012).

De acordo com Marcondes (2012), a implantação do projeto consistia em instalar medidores inteligentes para todos os moradores da cidade, cerca de 35 mil habitantes, de forma a atender os 15.400 pontos de consumo da cidade. Junto a isso, o projeto também contou com investimento para o desenvolvimento de iluminação pública, geração distribuída e mobilidade elétrica.

Além da instalação dos medidores inteligentes, o projeto contou com investimentos em redes de telecomunicações e sistemas de gerenciamento dos dados. Para a questão da comunicação foi utilizado 300 coordenadores ZigBee (AP5000) que entre suas características pode-se destacar:

- Até 8 redes ZigBee;
- 8 antenas direcionais;
- GPRS/GSM/3G compatíveis.

Quanto ao gerenciamento dos dados foi desenvolvido um sistema conhecido como Smart Meter Management (SMM) responsável por coletar os dados e gerenciar toda a solução implementada.

Figura 5 – Smart Metering Management



Fonte: Marcondes (2012).

O projeto ainda se estendeu para iniciativas de conscientização da população quanto ao uso da energia, apoio à clientes de baixa renda através da doação de geladeiras e kits de chuveiros híbridos, melhorias na iluminação pública através da troca de lâmpadas convencionais pelas de LED, incentivo a mobilidade elétrica, contando com 5 pontos de recarga de veículos elétricos, e investimentos em geração distribuída.

### 2.4.3 Projeto Piloto em Curitiba

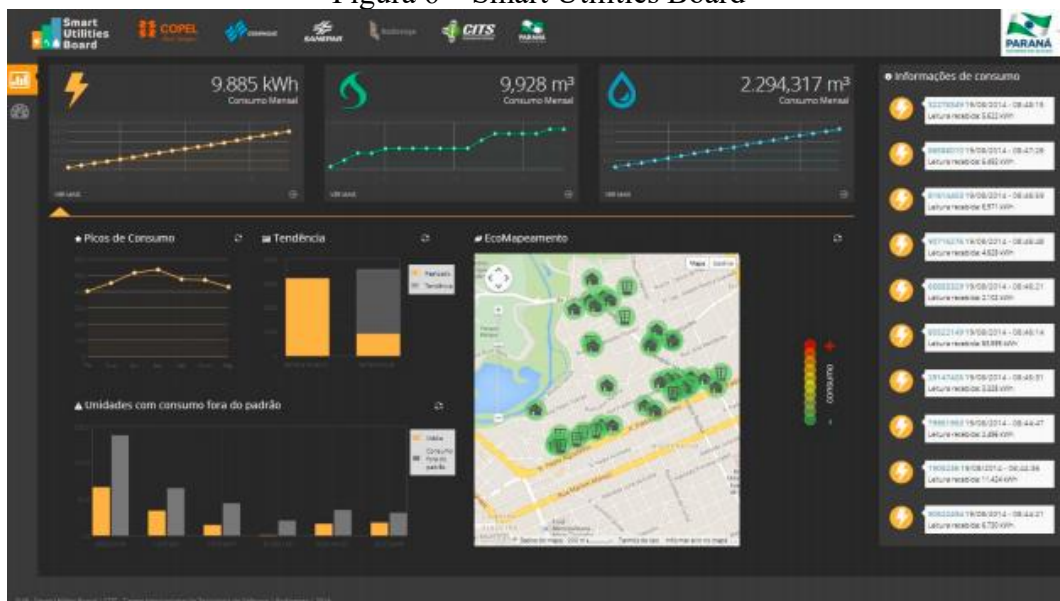
Curitiba é mais uma das cidades que recebeu investimentos para o desenvolvimento das redes inteligentes, com uma parceria entre governo do estado e a concessionária Copel que permitiu que um projeto-piloto se desenvolvesse na cidade.

A Copel buscou, com esse projeto, implantar as tecnologias existentes com o intuito de:

- Diminuir custos operacionais;
- Possibilitar a multimedição (água, gás e água);
- Possibilitar a tarifa diferenciada em períodos e a geração distribuída;
- Implantar um centro de controle capaz de monitorar, controlar e gerenciar todas as informações recebidas;
- Possibilitar o sistema de corte e religa remoto;
- Utilizar tecnologia RF Mesh em 900 Hz e como backhaul, utilizar das fibras ópticas já existentes da empresa.

O projeto foi dividido em duas etapas, onde a primeira era destinada à aplicação das tecnologias para cerca de 1000 unidades consumidoras e que alcançou 10 mil unidades consumidoras ao final da segunda etapa. Esse projeto diferencia-se dos demais por não se limitar a medições de energia, ampliando sua atuação para as medições de energia, água e gás.

Figura 6 – Smart Utilities Board



Fonte: Bonat (2014).

Acima nota-se o dashboard criado pela Copel para acompanhamento dos dados gerados pelos sistemas de medição inteligente. Na Figura 6 pode-se notar as médias de consumo de água, gás e energia, assim como apresenta a distribuição dos medidores inteligentes ao longo da região, picos de consumo, unidades com consumo fora do padrão, entre outras coisas.

#### **2.4.4 Projeto Piloto no Rio de Janeiro**

A empresa Light também decidiu investir em tecnologias de redes inteligentes e para isso desenvolveu um projeto-piloto na área metropolitana do Rio de Janeiro. O projeto que visava instalar mais de 1,4 milhões de dispositivos inteligentes, até o ano de 2017 já contava com cerca de 700 mil dispositivos inteligentes instalados na cidade (CANAL ENERGIA, 2017).

Além do projeto contar com a instalação dos medidores inteligentes, a concessionária também tem investido na automatização das câmaras subterrâneas da cidade com sensores inteligentes que avisam sobre falhas em equipamentos e religadores de rede de distribuição visando a melhoria na qualidade da energia da cidade.

Além de todas as modificações necessárias à estrutura da rede, se fez necessário a criação de uma plataforma de controle e gerenciamento de dados que vise:

- Gestão otimizada da rede aérea;
- Gestão energética pelo lado da demanda;
- Gestão otimizada da rede subterrânea;
- Gestão de fontes renováveis, armazenamento distribuído e veículos elétricos recarregáveis.

Para que o usuário tivesse uma interação fácil com os dados referentes ao consumo de energia, a Light desenvolveu um mostrador inteligente. O mostrador inteligente conta com LEDs superiores indicando o consumo instantâneo, LEDs inferiores indicando a tarifa atual, informações textuais e gráficos para facilitar o entendimento do usuário, entre outras funcionalidades.

Figura 7 – Mostrador Inteligente Light



Fonte: Toledo (2012).

### 3 INTERNET DAS COISAS

Internet das Coisas, ou Internet of Things (IoT), pode ser entendido como a interconexão de objetos físicos capazes de se comunicarem uns com os outros e até mesmo com o usuário, através de sensores, módulos de comunicação e softwares. Além de permitir a comunicação, os objetos inteligentes são capazes de exercer funções de resposta a dados ou então de capturar dados do ambiente, tal objeto pode ser gerenciado por softwares que armazenam os dados gerados.

Quando a tecnologia começou a ser estudada e a ser colocada em prática, o foco realmente eram os avanços tecnológicos que a internet das coisas poderia trazer aos aparelhos de uso do homem, de tal forma a permitir que ele se concentrasse em desenvolver suas habilidades ao invés de gastar seu tempo com execuções rotineiras.

Porém, ao longo dos últimos anos, outras tecnologias como 5G e Big Data vêm sendo aprimoradas, de forma que a internet das coisas expandiu suas fronteiras ao notar que os avanços que eram possíveis em aparelhos, agora seriam possíveis também em larga escala, implementando-a em casas, sistemas e até mesmo cidades.

O estímulo para que tecnologias como IoT, 5G e Big Data fossem exploradas se deve, principalmente, à importância que os dados têm atualmente. Por exemplo, dados dos clientes de uma empresa de telefonia permitem que a empresa conheça melhor seu cliente e lhe ofereça algum pacote que o cliente tenha grande interesse, dessa forma a empresa assegura que suas taxas de conversão aumentem. Imaginando um cenário do setor público, os dados estatísticos sobre o avanço de um vírus na população permitem que os gestores do local antecipem suas ações para conter tal vírus, o que, conseqüentemente, dá maior segurança à saúde da população.

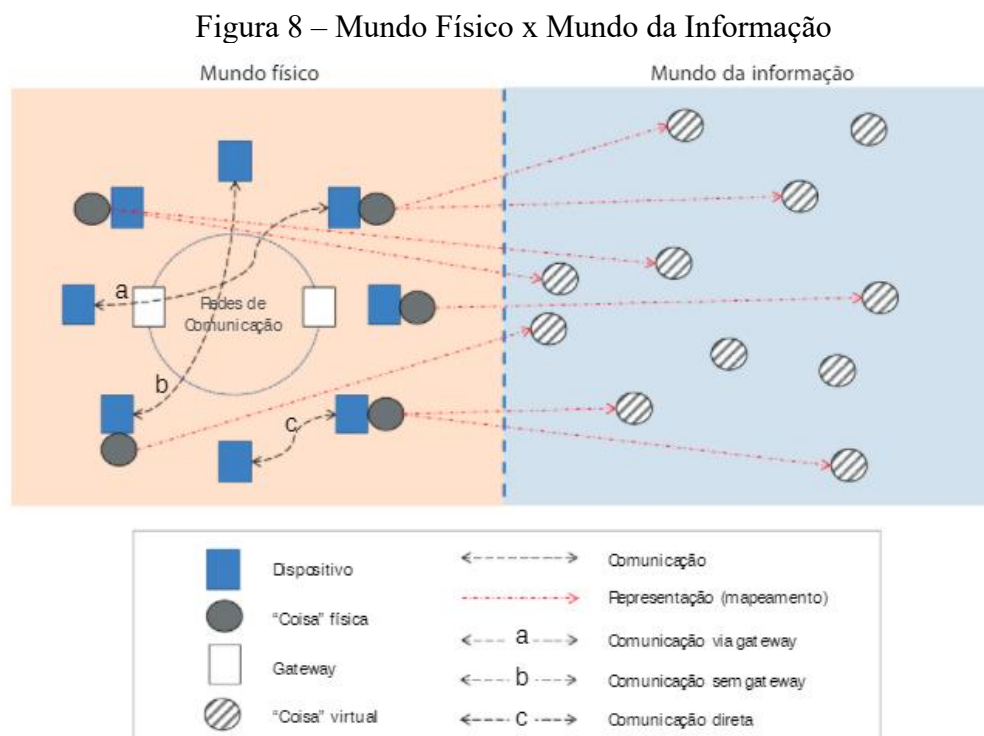
As redes inteligentes nada mais são do que a evolução do sistema elétrico ao se utilizar das tecnologias de internet das coisas permitindo a conectividade desde a geração da energia até a entrega aos clientes. Essa mudança no setor elétrico brasileiro não significa apenas transformações tecnológicas, mas também de negócios, pois permite que todo o setor elétrico mude sua forma de atuar, explorando novas áreas, aumentando a eficiência energética e estimulando a preservação ambiental.



### 3.1 ARQUITETURA IOT

Por conta de a internet das coisas ser uma tecnologia de utilidade em diversos setores, ou seja, uma tecnologia de multiprotocolos, foi necessária a definição de bases técnicas para a internet das coisas em relação a sua arquitetura.

Um dos órgãos que se propôs a trabalhar de modo a criar essa base técnica foi a ITU (International Telecommunication Union) que através do documento “*Recommendation ITU-T*” estabeleceu as premissas da implementação da internet das coisas (FACCIONI, 2019).



Fonte: Faccioni (2019).

Como pode ser visto na Figura 8, o documento aborda os termos mundo físico e mundo da informação e estabelece que para todo objeto no mundo físico deve existir um objeto no mundo virtual, e isso só é possível através de dispositivos, gateways e sensores que espelhem o objeto.

O documento RECOMMENDATION ITU-T (2012) ainda define que a internet das coisas deve ser dividida em quatro camadas:

- Camada de dispositivo: trata-se de dispositivos e gateways no mundo físico que são capazes de gerar e absorver dados de forma a poder executar ações ou entregar informações à rede que, posteriormente, alimentarão todo o sistema.

- Camada de rede: camada responsável por permitir toda a comunicação entre dispositivos e centrais, transportando dados e assegurando a confiabilidade das informações. A camada de rede é a camada que possibilita a gestão dos dados gerados e é extremamente importante os investimentos em segurança da informação para que a rede esteja protegida de falhas e ataques cibernéticos.
- Camada de suporte a serviços e aplicações: essa camada trata das capacidades de suporte a todo sistema, dentre suas responsabilidades estão o processamento e armazenamento de dados.
- Camada de aplicação: trata-se dos sistemas em que o IoT será aplicado, por exemplo, sistemas de medição eletrônica de energia, sistemas de gerenciamento de tráfego urbano, entre outros.

É através das capacidades de gestão e segurança que toda a arquitetura IoT pode ser suportada. A capacidade de gestão atua em gerenciamento de falhas, gerenciamento de performance, gestão da configuração, entre outros. Já a capacidade de segurança aborda aplicações genéricas, como a segurança de determinados dispositivos comuns a muitos sistemas, a até aplicações específicas como, por exemplo, aplicações de segurança patrimonial ou segurança de redes particulares de algum sistema específico.

Outro organismo importante que também está aplicado no desenvolvimento da internet das coisas é o IEEE que, através da equipe IEEE P2413, atua para definir a arquitetura IoT que acreditam ser dividida em três camadas: aplicações, rede/comunicação de dados e sensoria-mento (FACCIONI, 2019).

Nota-se que, por mais que os órgãos reguladores tenham divergências nas nomenclaturas para estrutura de uma arquitetura, as estruturas em si são muito semelhantes, divergindo principalmente no âmbito de sua atuação.

### 3.2 OBJETOS INTELIGENTES

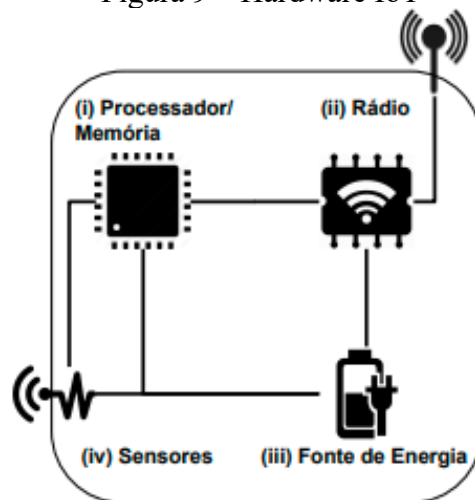
Para que possa ser considerado um objeto inteligente, o objeto deve possuir uma arquitetura básica comum a todos objetos IoT:

- Processador/Memória: é composta por uma memória interna capaz de armazenar dados e programas, um microcontrolador e um conversor analógico-digital útil para converter os sinais recebidos dos sensores. As CPUs utilizadas nos objetos

inteligentes normalmente são as mesmas utilizadas em sistemas embarcados, sem possuir alto poder computacional.

- Unidade de comunicação: trata-se da unidade de comunicação com ou sem fio capaz de se comunicar com outros objetos. Normalmente, os objetos de comunicação sem fio utilizam de rádio de baixo custo e potência, conseqüentemente possui curto alcance e perdas frequentes de informações.
- Fonte de energia: a fonte de energia é essencial para o funcionamento dos dispositivos internos do objeto, pode-se ter objetos ligados diretamente à energia elétrica ou objetos que utilizam da energia elétrica junto a um conversor AC-DC para carregar uma bateria interna que alimentará os dispositivos internos.
- Sensor/Atuador: parte essencial em um objeto inteligente, pois permite monitorar o ambiente ou atuar sobre ele. Os sensores são os responsáveis por permitir que as informações sejam construídas, enquanto os atuadores são os responsáveis por darem uma “resposta” ao meio em que se encontra.

Figura 9 – Hardware IoT



Fonte: Santos (2016).

Um dos grandes desafios para a tecnologia IoT é conseguir diminuir as unidades básicas do objeto inteligente para que ocupe o menor espaço possível e possibilite que a tecnologia seja implementada nos diversos objetos existentes, seja ele grande ou pequeno.

Os objetos inteligentes, assim como acontece com computadores, por exemplo, devem ser munidos de um endereço de identificação que permitam sua conexão à rede, por conta disso

o número de endereços possíveis deve ser capaz de suportar o grande número de objetos inteligentes conectados nos próximos anos.

A rede TCP/IP, até recentemente, trabalhava com o endereço IPv4 (Protocolo de Internet Versão 4) que permitia um máximo de 4,3 bilhões de endereços, porém a expansão da internet junto à crescente da tecnologia IoT tornaram o IPv4 inviável, pois comprometeria a quantidade de objetos inteligentes que poderiam se conectar à rede. Por conta disso, a Internet Engineering Task Force (IETF) desenvolveu um novo protocolo de identificação que recebeu o nome de IPv6 (Protocolo de Internet Versão 6), o IPv6 divide o endereço em oito grupos de 16 bits totalizando 128 bits, por conta disso a capacidade de endereços subiu para  $3,4 \times 10^{38}$ .

Quadro 1 – Comparação dos protocolos IPv4 e IPv6

	IPv4	IPv6
Endereços IP	$4,3 \times 10^9$	$3,4 \times 10^{38}$
Dimensão do endereço	32 bits	128 bits
Configuração	Endereço configurado manualmente	Funcionalidades de autoconfiguração
Pacotes	Suporta pacotes de 576 Bytes que podem ser fragmentados	Suporta pacotes de 1280 Bytes sem fragmentação

Fonte: Adaptado de Faccioni (2019).

Para que seja designado como um objeto IoT é necessário entender suas funcionalidades e atribuições. As funcionalidades de um objeto na internet das coisas são nove, distribuídas em três conjuntos (FACCIONI, 2016):

1. Conjunto das Características: composto das atribuições do objeto (Identificação, localização, endereçamento e processamento).
  - a. Identificação: Identidade de cada objeto, tornando-o único em toda IoT.
  - b. Localização: Refere-se à localização do objeto no meio físico.
  - c. Endereçamento: Trata-se da capacidade do objeto ser identificado dentro da rede.
  - d. Processamento: Capacidade do objeto em receber, atuar, processar e enviar as informações processadas no hardware.

2. Conjunto das Relações: Define como o objeto se comunica com outros objetos, com a rede e com o meio físico (Atuador, sensor, comunicação e cooperação).
  - a. Atuador: Capacidade do objeto atuar sobre o meio físico.
  - b. Sensor: Capacidade do objeto de captar dados do ambiente ou de outros objetos, dados obtidos através de sensores.
  - c. Comunicação: Capacidade do objeto de receber e enviar informações a outros objetos IoT conectados à rede.
  - d. Cooperação: Capacidade de agir em conjunto com outros objetos visando ações colaborativas para que uma determinada aplicação seja possível.
  
3. Conjunto da Interface: Refere-se à relação dispositivo/usuário normalmente possibilitada por algum software. A interface é a etapa onde se torna possível a visualização dos dados do objeto, permitindo alterações nas suas configurações e condições de trabalho.

De acordo com Faccioni (2019), um único objeto inteligente pode ter diversos dispositivos conectados a ele que garantam total funcionalidade da tecnologia IoT. A ITU classifica os dispositivos em:

- Dispositivo de transporte de dados (gateways): possibilita a comunicação entre objeto e rede.
- Dispositivo de captura de dados: dispositivo conectado ao objeto e que tem capacidade de escrita/leitura sobre o objeto.
- Dispositivo sensor/atuador: possui a capacidade de absorver informações do ambiente e de realizar operações.
- Dispositivo geral: possui capacidade plena de comunicação e processamento, esse dispositivo pode carregar consigo as funcionalidades dos anteriores.

### 3.3 CONCEITOS DE COMUNICAÇÃO EM IOT

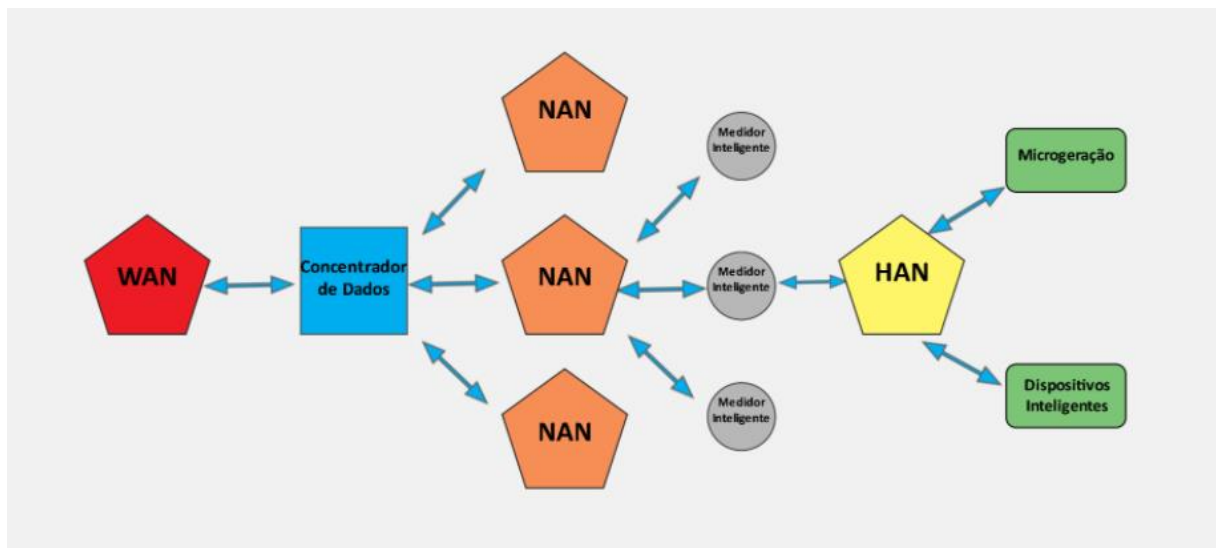
Para que as melhorias esperadas com a implantação do smart grid sejam sentidas, deve ser feita uma reestruturação no sistema elétrico desde sua geração até o consumo final. Para que isso seja possível, é de se esperar que a implementação seja feita em subsistemas de geração, transmissão, distribuição e consumo, assim sendo, a tecnologia IoT terá que estar presente,

através de dispositivos inteligentes de análise e controle, em: plantas de geração, linhas e torres de transmissão, subestações, linhas de distribuição, e nos milhares de pontos de consumo.

### 3.3.1 Camadas de Rede

Por conta das diferenças entre os subsistemas existentes dentro do sistema elétrico pode-se entender a arquitetura de uma smart grid traduzida em três camadas distintas: a da infraestrutura física do sistema de energia, a camada do fluxo de energia desde a geração até o consumidor e a camada da comunicação, que conectaria todos os subsistemas possibilitando a implementação das smart grids.

Figura 10 – Fluxo de informações na smart grid



Fonte: Pelielo, Accácio e Moysés (2016).

Nota-se, a partir da Figura 10, as diferentes redes de comunicação que constituem uma smart grid, possibilitando a comunicação e tráfego de dados da geração até o consumidor (ou vice-versa). Assim sendo, as redes de comunicação podem ser traduzidas em:

- Home Area Network (HAN): camada da rede que possibilita a conexão em uma área pequena como, por exemplo, uma residência, permitindo que o usuário final da energia conecte seus dispositivos a uma central e que a mesma rede faça a comunicação de todos os dispositivos a ela conectado.
- Neighborhood Area Network (NAN): camada da rede responsável por conectar as subestações de distribuição com os inúmeros dispositivos ou gateways de

consumidores finais, assim sendo, cumpre a função de integrar os medidores da rede HAN com os dispositivos da rede NAN.

- Wide Area Network (WAN): a terceira camada da rede, conhecida como rede de área ampla, é responsável em permitir a comunicação de diversas NAN, gateways de sistemas de transmissão, sistemas de geração com a central responsável pelo funcionamento de todo o sistema elétrico ou com outros dispositivos espalhados a grandes distâncias.

A cada camada da rede é possível se obter informações do sistema e a partir dessas informações implementar as melhorias necessárias, porém é apenas na camada de rede WAN que se têm todas as informações do sistema desde a geração de energia até a entrega ao consumidor.

### 3.3.2 Protocolos de Comunicação

Para que as redes inteligentes façam sentido é necessário a utilização de algum tipo de comunicação que faça a conexão dos medidores inteligentes com as concessionárias.

Para isso muitas tecnologias vêm sendo estudadas e implementadas para que tal comunicação ocorra com: baixo custo, alta qualidade na transmissão, capacidade de suportar milhares de conexões, entre outros.

São inúmeros os protocolos de comunicações possíveis para serem utilizados nas redes inteligentes, porém serão abordados nesse trabalho alguns que já se encontram em uso no mercado e alguns outros que se destacam como potenciais protocolos de comunicação.

#### 3.3.2.1 GPRS (General Packet Radio Service)

Trata-se de um protocolo de envio de pacotes de dados utilizando-se do sistema de telefonia móvel já existente. Para isso é necessário um modem GPRS com um identificador PIN, que cria a associação entre o equipamento (smart meter) e os dados gerados. Um dos principais benefícios ao se utilizar o GPRS é a possibilidade de comunicação em qualquer área que houver cobertura de sinal para celular, por conta disso, a qualidade do sinal depende da área em que se encontra o smart meter.

Para áreas que possuam uma alta qualidade do sinal, as taxas para transferência de dados alcançam velocidades entre 150kbps a 300kbps.

Pode-se dizer que o protocolo GPRS entrou em desuso, pois novas tecnologias da rede móvel vêm ganhando popularidade por seus avanços no setor. Trata-se das tecnologias 3G e 4G que diferem do protocolo GPRS, principalmente pela alta velocidade de transferência de dados, no qual para a rede 3G pode-se atingir até 2Mbps, enquanto a rede 4G possui taxa de transferência de no mínimo 1Mbps até 100Mbps.

Muitas são as vantagens de se utilizar o protocolo das redes de telefonia móvel para a comunicação entre cliente e concessionária:

- Não há a necessidade de implementação de meios físicos para possibilitar a comunicação;
- Os avanços nas tecnologias das redes de telefonia móvel estão permitindo que a comunicação alcance altas velocidades no envio de dados com alta confiabilidade do sistema;
- A rede 5G que já está sendo utilizado em alguns países pode trazer muitos avanços na comunicação das smart grids.

As vantagens da utilização dos protocolos GPRS, 3G, 4G e 5G são evidentes, porém pode-se notar uma grande desvantagem na utilização das redes móveis que trata-se do intermédio de empresas do setor de telefonia para que a comunicação aconteça, conseqüentemente as concessionárias não terão monopólio total dos dados, assim como possíveis falhas na comunicação dos dados não possam ser corrigidos diretamente pela concessionária gerando dependência de terceiros, e os contratos envolvidos na utilização das redes móveis podem tornar a utilização do protocolo inviável.

### 3.3.2.2 PLC (Power Line Communication)

Trata-se da comunicação por linha de força que se utiliza da tecnologia de rádio frequência para que seja feita a transmissão de dados, o envio dos dados ocorre através de um meio físico ao se utilizar a rede elétrica já existente, normalmente redes de média e baixa tensão, como meio de transporte dos dados.

A utilização de um meio físico já existente torna o custo inicial baixo, já que não necessita de grandes alterações no sistema existente. Entretanto, algumas alterações são essenciais para que se torne possível a utilização da comunicação PLC:



- Repetidores: se faz necessário a inclusão de repetidores na malha elétrica para garantir o envio dos dados de um ponto até outro. Em redes de baixa tensão é necessário o uso de um repetidor a cada 1,5 km.
- Modem PLC: É necessário a utilização de um modem PLC que tem como função a separação do sinal de dados e do sinal de energia elétrica.

Para que seja possível a transmissão de dados pela rede de energia elétrica é necessária uma etapa de modulação do sinal de dados, dessa forma os sinais de dados que normalmente variam de 9kHz a 500MHz são modulados para ser transmitido junto ao sinal de energia elétrica que trabalha na frequência de 60Hz.

A comunicação ao utilizar o PLC pode alcançar taxas de 200Mbps, porém alguns obstáculos na transmissão pela malha elétrica têm tornado esse tipo de comunicação pouco atrativo, entre eles:

- Interferência RF: a utilização do PLC pode gerar interferências de rádio frequência na rede elétrica e essa, por sua vez, pode interferir em equipamentos eletrônicos que estejam conectados à rede.
- Impedância: as grandes distâncias entre consumidor e concessionária geram alta impedância que pode ser contornada com o uso de repetidores, mas que, consequentemente, aumentam os custos do projeto.
- Ruído: muitas vezes o sinal de energia elétrica sofre alterações ao longo de sua distribuição, seja por consequência de raios ou ações humanas como uso de motores e geradores que acabam danificando o sinal elétrico e consequentemente o sinal de dados.

### 3.3.2.3 ZigBee

É de se imaginar que o Wi-Fi seja um tipo de comunicação favorável à implementação dos medidores inteligentes, porém o consumo elevado de energia e a limitação de dispositivos conectados à rede tornam inviável sua utilização.

Para que fosse possível a comunicação sem fio em redes inteligentes foi utilizada o padrão ZigBee, um conjunto de protocolos de comunicação sem fio de curto alcance e baixas taxas de comunicação.

O padrão ZigBee começou a ser projetado por volta do ano de 1998, e tinha o intuito de substituir o Wi-Fi e o Bluetooth em projetos de automação sem fio. Para que fosse possível, o padrão Zigbee deveria atender os seguintes critérios:

- Baixa latência;
- Baixo consumo de energia;
- Baixa complexidade dos nós;
- Baixo custo;
- Elevado número de dispositivos conectados à rede.

Por se tratar de um protocolo com baixo consumo de energia, sua taxa de transferência de dados também será baixa, alcançando taxa máxima de 200kbps. Além disso, o protocolo torna-se atrativo às concessionárias por não necessitar de aprovação da Anatel, por conta de sua baixa potência (menor que 1W), assim como não necessita de licença para uso da frequência, por se tratar da frequência ISM de 2,4GHz.

Dentre as principais características do padrão ZigBee destaca-se:

- Alta capacidade de dispositivos conectados à rede: Para cada dispositivo coordenador é possível conectar até 65.535 dispositivos;
- Diferentes frequências de operação: 20kbps (868MHz), 40kbps (915MHz) e 250kbps(2,4GHz);
- Alcance máximo de 50 metros;
- Operação em topologias: Estrela, malha e árvore;
- Interoperabilidade: Capacidade de se comunicar com outros sistemas;
- Alto grau de imunidade a ruído: Caso seja necessário, o coordenador ZigBee pode alterar o canal de transmissão para que não haja mais interferência.

Por se tratar de um padrão que possui um alcance limitado, o padrão ZigBee provavelmente será utilizado em projetos de automação residencial e gerenciamento de energia, permitindo a comunicação entre os equipamentos internos com o medidor inteligente.

#### 3.3.2.4 Z – Wave

Assim como o padrão ZigBee, o Z - Wave é um padrão de comunicação sem fio, e que por conta de suas características, é muito utilizado para monitoramento e controle residencial.

O protocolo Z - Wave tem como características:

- Utiliza ondas de rádio;
- Taxas de comunicação de até 100kbps;
- Banda de frequência: 668 até 900MHz. Essa faixa de frequência permite que não haja interferência com outros protocolos como WiFi e Bluetooth que operam na faixa de 2,4GHz;
- Comunicação de baixa latência com pequenos pacotes de dados.

Seu funcionamento baseia-se em dois dispositivos, os dispositivos “Controladores” são responsáveis por enviar os comandos aos outros dispositivos conectados, enquanto os dispositivos “Escravos” têm a função de executar os comandos recebidos dos controladores e retornar uma mensagem ao dispositivo controlador de êxito na execução do comando.

Além disso, é destinado um único Network ID ou Home ID para cada rede Z - Wave, assim como para cada dispositivo conectado à rede é designado um único node ID, o que permite a comunicação dentro de uma mesma rede de todos os dispositivos conectados.

#### 3.3.2.5 Transmissão Concentrada

O avanço dos projetos de smart grid permitiu a percepção de que a união dos tipos de comunicação, utilizando-as em seus melhores aspectos, possibilitaria a implementação da comunicação com baixo investimento em infraestrutura.

Para que isso seja possível a transmissão concentrada une diferentes comunicações ao longo do caminho por onde são enviados os pacotes de dados. Inicialmente, os smart meters se comunicam com concentradores próximos a eles através dos protocolos PLC e ZigBee; o protocolo GPRS permite a comunicação entre os concentradores e as centrais; as informações que chegam a central são armazenadas em um concentrador de entrada e que, posteriormente, são enviadas a rede interna da central via LAN.

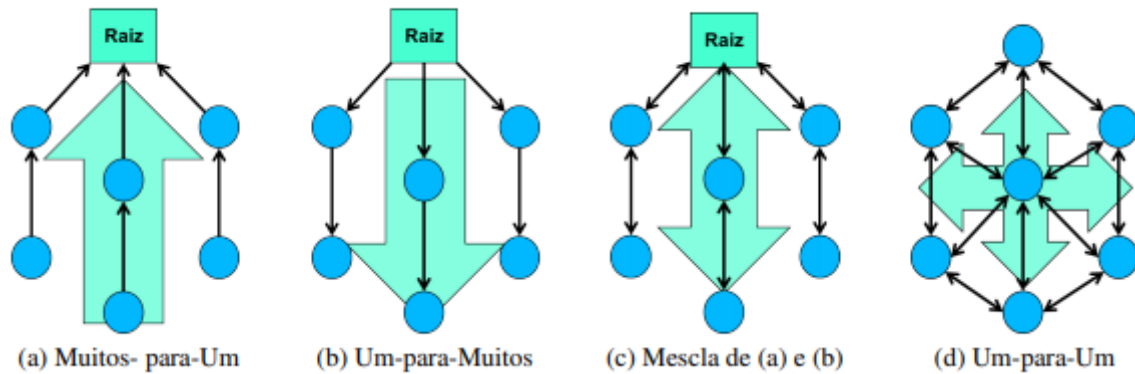
O desenvolvimento de novas tecnologias, como o surgimento do 5G e os avanços no desenvolvimento da fibra óptica, tendem a trazer avanços essenciais para que a comunicação nas smart grids alcance um novo patamar onde possua alta velocidade e alta confiabilidade nos dados.

### 3.3.3 Paradigmas de Comunicação

A comunicação entre objetos inteligentes pode ocorrer de formas diferentes, tais formas serão tratadas como paradigmas. É a partir dos paradigmas que é possível afirmar a complexidade de cada objeto, já que os paradigmas interferem na complexidade de comunicação de cada objeto. Assim, os paradigmas podem ser classificados da seguinte maneira (FACCIONI, 2019):

- **Many-to-One:** este paradigma se refere aos objetos inteligentes que podem enviar seus dados a uma estação base, dessa forma muitos objetos inteligentes se conectam a um único dispositivo que recebe todos os dados. Tal paradigma é muito útil para baratear os sistemas IoT já que permitem que grande parte dos objetos não sejam tão complexos e não consumam muita memória e energia, limitando a complexidade para o objeto central que receberá as informações dos inúmeros objetos inteligentes.
- **One-to-Many:** esse paradigma refere-se ao oposto do anterior, trata-se dos objetos centrais se comunicando com os objetos inteligentes. Esse paradigma é muito utilizado para o envio de informações ou ações aos objetos inteligentes, bem como para a alteração de parâmetros dos dispositivos.
- **One-to-Many and Many-to-One:** trata-se de uma combinação dos dois anteriores, nesse paradigma a comunicação é bidirecional, ou seja, é possível a comunicação de objetos inteligentes com os objetos centrais ou vice-versa. A comunicação bidirecional permite uma maior gama de aplicações, porém necessita de maior complexidade para que suporte o tráfego de dados nas duas direções.
- **Any-to-Any:** trata-se do paradigma com maior possibilidade de aplicações, já que a comunicação é possível de objeto para objeto. Por se tratar do paradigma com maior abrangência de aplicações, é de se esperar que os dispositivos contem com mais recursos e sejam mais complexos para suportarem maior espaço de armazenamento de dados, assim como permitir respostas rápidas e para que suas funcionalidades não sejam limitadas.

Figura 11 – Paradigmas de comunicação



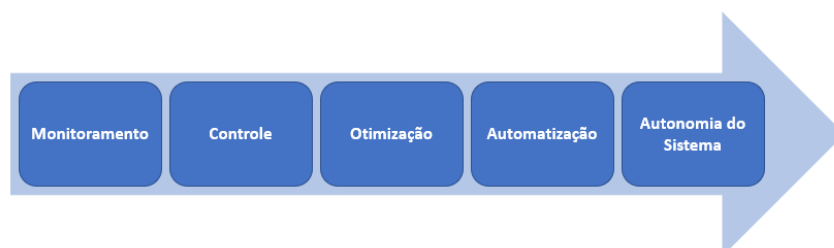
Fonte: Santos (2016).

### 3.4 IOT APLICADO AS SMART GRIDS

As aplicações IoT passam a ser parte importante nas power grids a partir de 1990, quando se iniciam os movimentos a favor da automação no setor de energia. Nessa época, os sistemas supervisórios de controle e aquisição de dados (SCADA) são integrados a power grid, assim como são incluídos, nessa mesma época, controladores lógico-programáveis (PLCs). Mais tarde, foi a vez da implantação dos medidores inteligentes capazes de coletar dados de consumo e conectar consumidores com o resto do sistema em tempo real.

A IoT vem ganhando espaço no power grid, iniciando suas aplicações em monitoramento de equipamentos e processos, posteriormente controlando esses equipamentos e processos, assim como os otimizando, trazendo autonomia às unidades individuais e por fim trazendo autonomia ao sistema todo.

Figura 12 – Evolução da IoT no smart grid



Fonte: Adaptado de Faccioni (2019).

Os sistemas do tipo SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados) eram, e ainda são utilizados, entre outras atuações, para verificar níveis de consumo de combustível para

geração de energia com turbinas. Isso demandava sensores de alto custo, transmissão massiva de dados e um complexo banco de dados. Porém, com a chegada do IoT, esse processo se tornou mais simples já que é da natureza da IoT esses processos de digitalização plena ou integral, para que fique claro essa diferença, pode-se usar como exemplo:

- A utilização da internet das coisas torna o setor de geração de energia mais simples, pois possibilita a utilização de sensores e atuadores de baixo custo, facilitando a operação e a integração de múltiplas unidades geradoras, permitindo também a integração das unidades geradoras de energia renovável, que antes não era possível.
- Dispositivos IoT possibilitam plataformas analíticas que facilitam a previsão de geração solar e eólica, facilitando com que as unidades geradoras convencionais se adaptem as curvas de demanda, considerando as unidades geradoras renováveis.
- Os avanços nos dispositivos medidores permitem automatizar os processos de cobrança, ligação e desligamento de pontos de consumo, automatizar as respostas a demanda, possibilitando ajustar a curva de carga em tempo real.
- Falhas no sistema poderão ser notados em tempo real, facilitando o reparo das áreas afetadas, assim como a distribuição da energia por outras malhas, com a finalidade de diminuir a área afetada.

Figura 13 – Evolução dos processos de manutenção em smart grid a partir da IoT



Fonte: Adaptado de Faccioni (2019).

A Figura 13 mostra como a manutenção do sistema elétrico ocorre atualmente, e como pode ocorrer com a implantação das tecnologias IoT (FACCIONI, 2019):

- **Manutenção Reativa:** Manutenção da rede elétrica resultante de inúmeras ligações de clientes reclamando de falhas de energia. Esse processo é falho e lento, pois o tempo que demora para que a central tome conhecimento da queda de energia é grande e conseqüentemente isso gera insatisfação dos clientes e perda de lucratividade para a empresa.
- **Manutenção Preventiva:** Essa camada já traz alguns avanços, porém ainda é um tratamento imaturo. Trata-se de uma camada preventiva que a partir de dados acumulados de falhas e problemas tornam-se dados estatísticos. A partir das probabilidades geradas são criadas rotinas de manutenção com a intenção de manter a rede elétrica em condições normais. Porém ainda se trata de algo ineficaz, pois o acúmulo de informações é lento, assim como as probabilidades não garantem que o problema não ocorra novamente.
- **Manutenção Baseada em Condições:** Nessa camada já há uma primeira integração com dispositivos IoT, onde sensores são utilizados ao longo da rede elétrica.

A partir dos sensores, a central de operações passa a receber informações em tempo real das condições da energia e do sistema, a partir disso, é possível verificar problemas sem a necessidade do contato do cliente.

- **Manutenção Preditiva:** A partir das informações geradas pelos sensores inteligentes pode ser criada plataformas de predição de manutenção, criando diagnósticos da rede de forma mais precisa e eficiente.
- **Manutenção Baseada em Riscos:** Na camada mais ao topo está a aplicação mais avançada, a de análise de riscos do sistema, porém as probabilidades não são mais coletadas de dados estáticos, mas sim de dados dinâmicos, já que as informações passam a ser coletadas em tempo real.

De acordo com Ramamurthy e Jain (2017), a expectativa é de que sejam gastos mais de um trilhão de dólares até 2025, consequência do desenvolvimento de dispositivos IoT, computação em Cloud, dashboards de monitoramento e sistemas analíticos avançados, todos integrados em plataformas IoT.

Por mais que seja um investimento enorme, é esperado, também, resultados financeiros enormes, esses resultados financeiros estão associados a três áreas (FACCIONI, 2019):

- **Gestão dos Ativos de Rede:** trata-se dos ativos que são equipamentos, as linhas de transmissão, transformadores, torres etc. A transição entre uma gestão desequilibrada para uma equilibrada conta com fatores como: melhoria da confiabilidade e da disponibilidade de ativos na rede, redução dos custos de manutenção e instalação, redução no número de equipamentos ou trocas e reparos nos mesmos, aumento da produtividade das equipes, consequência de um processo mais automatizado.
- **Otimização Operacional e Agregação:** consiste em controles de rede em tempo real, plataformas de agregação de fontes de energia alternativas, assim como a conexão e a interoperação de dispositivos com controle centralizado.
- **Serviços customizados ao consumidor:** a partir de medidores inteligentes e da gestão inteligente de fornecimento ao consumidor final será possível customizar os serviços ao consumidor através de aplicativos de gerenciamento e monitoramento do consumo, aumentando sua participação na gestão da energia, e possibilidade de venda de energia do cliente para a central, através das fontes de energia renováveis.



## 4 MEDIDORES INTELIGENTES (SMART METERS)

A smart grid é uma arquitetura composta por diferentes tecnologias que permitem a transmissão de energia e de dados entre concessionária e consumidor, e para que isso seja possível é extremamente importante o desenvolvimento dos medidores inteligentes (smart meters).

Atualmente há dois tipos de medidores muito utilizados que são os medidores analógicos convencionais, que apenas registram o consumo de energia, e os medidores AMR (Leitura Automática do Medidor), que permite em intervalos longos de tempo a leitura do consumo de energia de forma automática e remota.

Com a introdução dos medidores inteligentes o modo de medição se tornará mais preciso, além de possibilitar a utilização desses dados de diferentes formas, já que a medição poderá ser feita em tempo real tanto pela concessionária quanto pelo consumidor.

A utilização de medidores inteligentes com conexão a redes de comunicação permite que a comunicação deixe de ser unidirecional e passe a ser bidirecional, isso ocorre pois os dados gerados podem ser transmitidos a uma rede local ou a um gateway, essa por sua vez envia as informações às concessionárias para que possam ser feitos levantamentos e análises mais precisas e que conseqüentemente gerem novos tipos de estratégias para a geração, transmissão e distribuição de energia.

Assim como é vantajoso para as empresas de energia, para os consumidores finais também podem ser vistos pontos positivos na implementação dos smart meters. Os medidores permitirão o acompanhamento da demanda por energia, possibilitando que o consumidor entenda quais cargas estão lhe gerando mais gastos, permitirá mudanças nas tarifas de energia, o que tornará as contas de energia muito mais precisas e justas, assim como pode mudar o padrão de compras dos consumidores, uma vez que esses se atentem mais aos gastos de energia que cada equipamento (eletrodomésticos, eletrônicos, lâmpadas, entre outros) possa gerar (CAMPOS, 2004).

### 4.1 APLICAÇÕES

É a partir dos medidores inteligentes que os dados sobre energia poderão ser coletados, dessa maneira será essencial a utilização de medidores inteligentes ao longo de toda a malha elétrica, para que seja possível o gerenciamento e controle da energia desde a geração até o consumidor.

Dentre as aplicações que serão possíveis graças aos medidores inteligentes pode-se destacar: detecção de furtos de energia, detecção de falhas da rede, controle da curva de carga através de relés de corte e religa e leitura bidirecional.

#### 4.1.1 Detecção de Furtos de Energia

De acordo com dados da ANEEL (2019), em 2018, 6,6% da energia injetada foram consideradas perdas não técnicas, isso é, ligações clandestinas, adulterações dos medidores de energia e erros na leitura ou na medição.

“O prejuízo com perdas não-técnicas (consumo irregular) de energia elétrica atingiu o patamar de R\$ 8,1 bilhões ao ano, considerando as 61 das 63 distribuidoras que passaram pelo 2º ciclo de revisões tarifárias no período de 2007 a 2010.” (ANEEL, 2011).

Figura 14 – Perdas sobre a energia distribuída



Fonte: ANEEL (2019).

A utilização dos medidores inteligentes poderá diminuir as perdas não técnicas ou, pelo menos, evidenciar através de dados precisos essas perdas. A precisão sobre os dados de perdas não técnicas se dá, principalmente, pelo fato de se utilizar os medidores ao longo do percurso entre distribuidora de energia e consumidor final, dessa forma, diferentes medições ao longo da malha da rede elétrica permitirão às concessionárias entenderem em que pontos estão sendo gerados furtos de energia.

Outro ponto importante a ser ressaltado é a precisão que os medidores inteligentes terão frente aos medidores convencionais, isso se deve à mudança da medição analógica, e que depende de leituristas, para a medição digital e instantânea.

#### **4.1.2 Detecção de Falhas**

Como a comunicação entre consumidor e concessionária será muito mais eficaz e rápida, é de se esperar que casos como falhas de energia possam ser tratados de forma muito mais eficiente. Isso acontecerá pois não será mais necessário o procedimento que o cliente faz de ligar na concessionária avisando que houve queda na energia, o próprio medidor inteligente enviará a informação para a central, que por sua vez poderá retornar, através da interface de dados, uma expectativa de retorno da energia aos clientes afetados.

Quando o smart grid for implementado por completo, a resolução do problema será mais facilmente contornada, isso porque as malhas da rede permitirão criar caminhos para a entrega de energia nas áreas afetadas, além de contar com a geração distribuída que poderá auxiliar a rede afetada ao enviar energia para a mesma.

#### **4.1.3 Relé de Corte e Religa**

Outra utilidade possível com a utilização dos medidores inteligentes é a possibilidade de cortes e religamento de energia de forma remota tanto pelo cliente quanto pela concessionária. A partir dos contratos que serão possíveis com a implantação da smart grid em larga escala, será possível estabelecer momentos em que a concessionária terá permissão de desligar a energia de certos consumidores para permitir o controle da curva de carga e seu posterior religamento.

Tal funcionalidade poderá ser aprimorada com o passar dos anos e com o desenvolvimento das tecnologias de smart grid e IoT, e com isso será possível utilizar os relés de corte e religa para cortar a energia de aparelhos específicos pré-determinados no contrato com a concessionária, assim nenhum cliente ficará sem energia e, simultaneamente, a concessionária terá maior controle sobre a curva de carga.

#### **4.1.4 Leitura Bidirecional**

Diferentemente dos medidores atuais, o medidor inteligente permite a leitura de dados de forma bidirecional, o que têm se tornado extremamente importante diante da crescente

instalação de minigeradores de energia (energia solar) em residências, tornando o que antes eram apenas consumidores, em produtores de energia.

Assim sendo, a leitura bidirecional permitirá informar a concessionária quanta energia foi absorvida da rede e quanta energia foi enviada a rede.

#### 4.2 TIPOS DE MEDIDORES

Atualmente, a maioria dos medidores utilizados são do tipo analógico onde o contador é acionado através de um disco metálico que por sua vez é acionado a partir de um torque gerado pela passagem de corrente e tensão nas bobinas de corrente e de potencial, respectivamente. Esse tipo de medidor além de gerar apenas informações referentes ao consumo mensal do cliente, gera custos altos por possíveis erros no registro do consumo, erro na leitura do dado e pela grande quantidade de leituristas necessário.

Figura 15 – Medidor eletromecânico analógico



Fonte: Montini (2020).

Outro tipo de medidor que é muito utilizado é o AMR, esse medidor mantém o conceito de fluxo unidirecional, porém já possibilita a leitura automática do consumo em altos intervalos de tempo, o que torna a medição mais precisa e mais lucrativa, já que retira a necessidade de leituristas para que seja feita a leitura dos dados.

Já os medidores inteligentes são medidores eletrônicos (digital) que possuem medição em tempo real podendo ser programada em certos intervalos de tempo, são medidores que possibilitam o fluxo bidirecional, funcionalidade importante para os próximos anos visto que cada vez mais os consumidores estão se tornando produtores de energia. Além disso, é de se esperar que

ao longo dos próximos anos e com a implementação das tecnologias de IoT, o medidor inteligente possa ser integrado aos equipamentos residenciais inteligentes, possibilitando novos tipos de abordagem tanto para o consumidor quanto para as empresas relacionadas a geração, transmissão e distribuição de energia.

Os medidores inteligentes possuem um transformador de corrente que possibilita a diminuição da corrente para que possa ser lido pelo conversor analógico - digital presente na placa mãe do medidor. Após a conversão, os dados são processados pela CPU interna do medidor que, posteriormente, disponibiliza os dados no display e na rede de comunicação.

#### 4.3 EXEMPLOS DE MEDIDORES INTELIGENTES

Para utilização em projetos pilotos e de larga escala, a empresa WEG desenvolveu a linha de medidores inteligentes SMW, afim de ser pioneiro nessa nova tecnologia, produzindo um produto que entrega alta precisão nos dados, ao mesmo tempo que possibilita a integração com diferentes tipos de tecnologia e adaptações as tecnologias futuras, por conta de seu projeto modular de interface de comunicação.

Figura 16 – Medidor Inteligente SMW



Fonte: WEG (2020).

Além da empresa ter criado essa linha de medidores inteligentes, a WEG desenvolveu um software (WSG – WEG Smart Grid) para utilização das concessionárias para configuração, manutenção e leitura de dados dos medidores da linha SMW.

Principais características:

- Flexibilidade para alteração da tarifa convencional para a tarifa branca;
- Relógio de tempo real, alimentado por bateria e supercapacitor;
- Memória de massa que possibilita o armazenamento de até 37 dias de informações;
- Possibilidade de mudança da comunicação (tanto físico quanto protocolo);
- Relé de corte e religa integrado;
- Mecanismos de segurança, baseado na autenticação e criptografia dos dados;
- Disponível nas versões monofásicas e polifásicas;
- Comunicação Remota: RF Mesh e/ou PLC OFDM.

Outra empresa que também já apresentou seu medidor inteligente é a Landis+Gyr, com a família de medidores E450 que são medidores inteligentes polifásicos, que permitem medições de energia e demanda ativa e reativa, em diferentes horários, além de ter medição bidirecional.

Figura 17 – Medidor Inteligente E450



Fonte: Landis+Gyr (2020).

#### Principais Características:

- Medição bidirecional em quatro quadrantes;
- Memória de massa de 15 canais;
- Intervalo de integração de memória de massa de 5 minutos por 45 dias;
- Relé de corte e religa;
- Intervalo de integração de demanda parametrizável entre 5, 15, 30 ou 60 minutos;
- Comunicação remota: RF Mesh Landis+Gyr ou PLC M&M.

A empresa Nansen possui a linha de medidores inteligentes NSXi que são medidores monofásicos e polifásicos e que possuem medição bidirecional.

Figura 18 – Medidor Inteligente NSXi



Fonte: Nansen (2020).

#### Principais Características:

- Medição em 4 quadrantes;
- 4 postos horários;
- Relé de corte/religa;
- Memória de massa com 21 canais;
- Grava os últimos 12 meses de registros de energia e demanda;
- Demanda máxima e acumulada configurável;
- Comunicação: RF Mesh.

#### 4.4 PLATAFORMAS DE GERENCIAMENTO

Para que os medidores inteligentes entreguem suas funcionalidades com efetividade é necessário plataformas de gerenciamento para que seja gerado informações sobre os medidores, a fim de que se tenha certeza da veracidade dos dados.

Para isso há duas plataformas distintas e que se complementam:

- AMM (Advanced Meter Management): conhecido como Gerenciamento do Medidor Avançado, essa plataforma integrada às redes de comunicação efetua leituras de perfis de carga em determinados períodos, a fim de avaliar os parâmetros

utilizados nos medidores e sua confiabilidade. Dessa forma possui funções importantes como: gestão dos parâmetros dos medidores, gestão em grupo de medidores com finalidade de, por exemplo, realizar configurações e upgrades de firmware, e gestão da plataforma de comunicação, de forma a assegurar a comunicação entre dispositivo e a central, assim como informando sobre o desempenho da rede e algumas outras situações raras na rede.

- MDM (Meter Data Management): o Gerenciamento de Dados do Medidor é uma plataforma que tem o intuito de processar os dados gerados pelo medidor, energia consumida, fator de potência, qualidade da energia. A plataforma tem o intuito de aperfeiçoar os processos de faturamento, demanda de energia, eficiência operacional, gestão de fraudes, entre outros.

Posteriormente foi desenvolvido o sistema AMI (Infraestrutura de Medição Avançada) que engloba os conceitos de AMM e MDM. Além de englobar os dois conceitos também pode ser entendido como a infraestrutura dos meios de comunicação que permitam o desenvolvimento e funcionalidades da medição inteligente.

Um exemplo de sistema AMI é o que foi desenvolvido pela empresa Nansen junto a Saxon (líder em distribuição na China), o sistema SanPlat AMI possui software de gerenciamento, interfaces de comunicação e medidores inteligentes da família NSXi. Esse sistema é compatível com diferentes tecnologias de comunicação (3G, LTE, RF e PLC), e possibilita a integração com medidores inteligentes de outras linhas, além de possuir um sistema robusto que confere segurança as informações.

O sistema SanPlat AMI possui entre suas funcionalidades:

- Leitura de medidores (sob demanda e/ou agendada);
- Memória de massa;
- Faturamento;
- Atualização do firmware;
- Programação tarifária;
- Análise de qualidade de energia e detecção de violação/furto;
- Limitação de demanda;
- Alteração e análise de forma remota dos parâmetros do medidor.



## 4.5 TARIFAÇÃO

Uma das mais importantes consequências da implementação da smart grid é a possibilidade de mudança na modalidade de tarifação brasileira, de forma que deixe de utilizar a modalidade convencional e passe a utilizar a modalidade branca.

A mudança na tarifação da energia é de extrema importância no conceito de smart grid, pois permite que os consumidores gerenciem suas cargas de forma a diminuam seus gastos com energia e melhorar a eficiência energética, já que possibilita a mudança da curva de carga para uma curva mais homogênea.

### 4.5.1 Modalidade Convencional

A modalidade convencional, utilizada atualmente, é um sistema de tarifação composto por três bandeiras tarifárias:

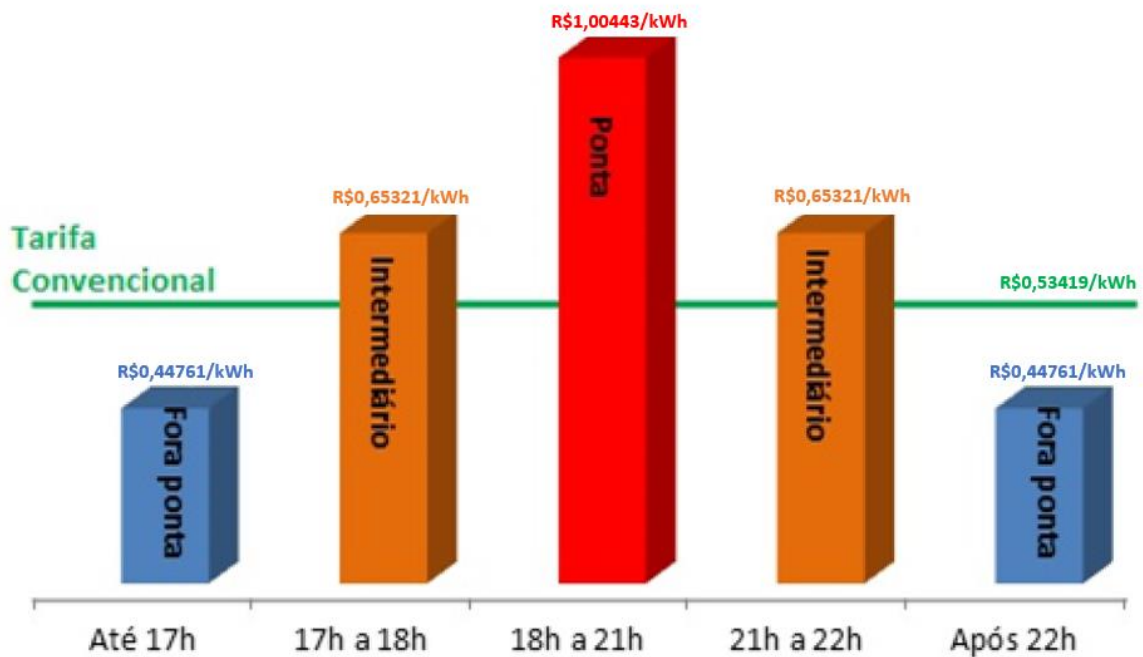
- **Bandeira Verde:** bandeira que indica condições favoráveis de geração de energia, sendo assim não há nenhum acréscimo tarifário.
- **Bandeira Amarela:** bandeira que indica condições de geração menos favoráveis (pouca chuva ou baixo nível nos reservatórios) e consequente acionamento das termelétricas. A tarifa sofre um acréscimo de R\$ 1,50 para cada 100 kWh consumidos.
- **Bandeira Vermelha:** bandeira que indica a situação com mais custos na geração de energia (uso intensivo das termelétricas). A tarifa sofre um acréscimo de R\$ 3,00 para cada 100 kWh consumidos.

A modalidade convencional de tarifação não é de certa forma justa, pois não diferencia o perfil do consumidor, dessa forma mesmo que um consumidor seja consciente no uso de energia pagará a mesma tarifa que um consumidor que não tem essa consciência. Além disso, a modalidade convencional não incentiva o consumidor a alterar seu padrão de consumo afim de diminuir os momentos de pico de carga, uma vez que a tarifação ocorre por bandeiras, portanto o valor pago em horário de pico e horários fora de pico é o mesmo.

#### 4.5.2 Modalidade Branca

A modalidade branca trata-se de uma tarifa diferenciada da convencional, pois estipula tarifas diferentes ao longo do dia, permitindo que o perfil de consumo do cliente seja ajustado para atender as necessidades do consumidor.

Figura 19 – Tarifa convencional x Tarifa branca



Fonte: ANEEL (2020).

A modalidade branca trás três postos diferentes ao longo do dia:

- Posto de Ponta: é a tarifa para o momento de maior consumo de energia durante o dia, a tarifa possui um período de três horas consecutivas.
- Posto Intermediário: é a tarifa cobrada para o consumo feito uma hora antes ou uma hora depois do horário de ponta.
- Posto Fora de Ponta: é a menor das tarifas e contempla todos os outros horários do dia que não são contemplados nos postos anteriores. Os finais de semana são tarifados inteiramente dentro do posto fora de ponta.

Essa modalidade de tarifação pode ser favorável ou prejudicial ao consumidor dependendo do seu perfil de consumo. Para uma pessoa que goste de usar vários equipamentos no horário de pico de carga os gastos com energia tendem a aumentar, enquanto para uma pessoa

que utilize a energia em maior quantidade no período da madrugada, seus gastos tendem a diminuir.

Esse tipo de tarifação permite que a cobrança dos consumidores se torne mais justa, mas também possibilita uma mudança na visão de consumo dos clientes de forma a distribuir melhor o consumo ao longo do dia.

## 5 ANÁLISE DE CONSUMO PELO CONSUMIDOR FINAL

A criação das redes inteligentes além de permitir novas tecnologias que tornam o sistema mais eficiente, também permite que o cliente faça parte da estratégia de negócio. A partir da utilização de softwares de acompanhamento do consumo, incentivos através da legislação e crescimento da microgeração de energia, os clientes deixarão de ser apenas consumidores (agente passivo) e passarão a ser parte essencial (agente ativo) em todo sistema.

Para que a mudança de postura do cliente seja concretizada é necessário entender quais medidas devem ser tomadas por parte das concessionárias, dos órgãos públicos e de outras empresas envolvidas no setor para que o cliente note os benefícios de sua inclusão no sistema como agente ativo, assim como é necessário entender quais os impactos que tal mudança de postura trará ao sistema como um todo, dessa forma é essencial o estudo do gerenciamento pelo lado da demanda.

### 5.1 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

O termo GLD (Gerenciamento Pelo Lado da Demanda), criado por Clark Gellings, define o consumidor final como peça chave para que, junto às concessionárias, possam ser feitas mudanças na curva de carga que beneficiem tanto o cliente quanto as concessionárias.

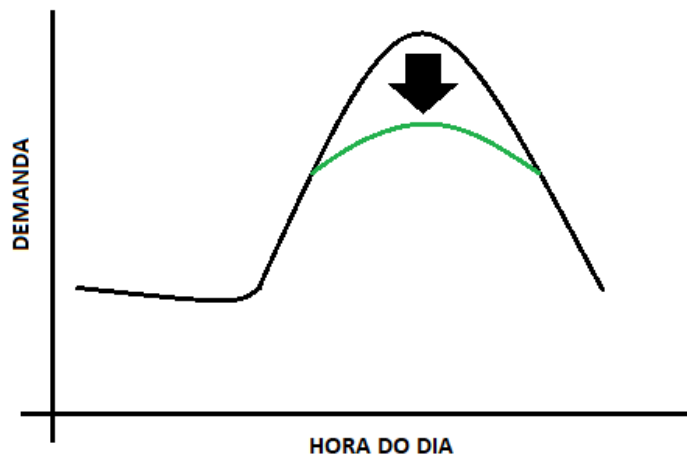
O gerenciamento pelo lado da demanda tem como iniciativas:

- Redução de picos de carga;
- Diminuição de vales de carga;
- Estimular o deslocamento de carga afim de torná-la mais homogênea ao longo do dia;
- Diminuir gastos com energia tanto para as concessionárias quanto para o consumidor;
- Evitar alterações e ampliações na estrutura atual desde geração até o consumo da energia;
- Incentivar a microgeração energética e a ampliação de energias renováveis.
- Educar e conscientizar a população quanto ao consumo de energia.

### 5.1.1 Redução de Picos

A ação mais importante com a implementação do GLD é a redução de picos de carga que possibilitará a diminuição do superdimensionamento das unidades geradoras por parte das concessionárias.

Figura 20 – Redução de picos



Fonte: Imagem de autoria própria.

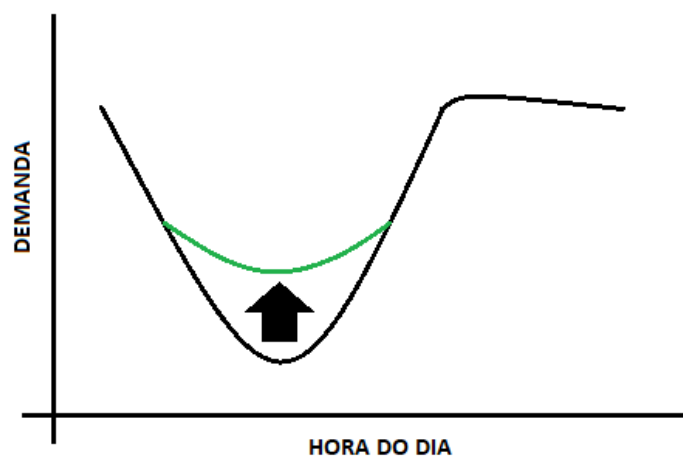
Com a implementação da smart grid, em longa escala, será possível que as concessionárias façam cortes momentâneos de energia em determinadas cargas de um consumidor afim de se controlar os picos de carga. Esse controle remoto por parte das concessionárias será possível a partir da união das tecnologias envolvendo redes inteligentes e internet das coisas, dessa forma os clientes poderão listar as cargas que podem ser desligados pela concessionária nos momentos de pico de carga.

O grande motivo para que a redução de picos seja a ação mais importante se dá pelo fato de que as unidades geradoras tenham que ser projetadas de forma superdimensionada para que atenda aos momentos de pico. Além de diminuir a vida útil dos equipamentos e necessitar de mais recursos naturais, os elevados picos de carga também impactam financeiramente, já que o superdimensionamento gera momentos de ociosidade que muitas vezes acarreta maiores despesas.

### 5.1.2 Preenchimento de Vales

Assim como é esperada uma diminuição no pico de carga, também é de se esperar uma diminuição nos momentos de vale na curva de carga. As duas ações em conjunto tornam a curva de carga mais “normalizada”, dessa forma diminui-se o desperdício de energia, evita-se a ampliação das unidades geradoras e conseqüentemente aumenta a eficiência energética ao melhorar o balanceamento da rede.

Figura 21 – Preenchimento de vales



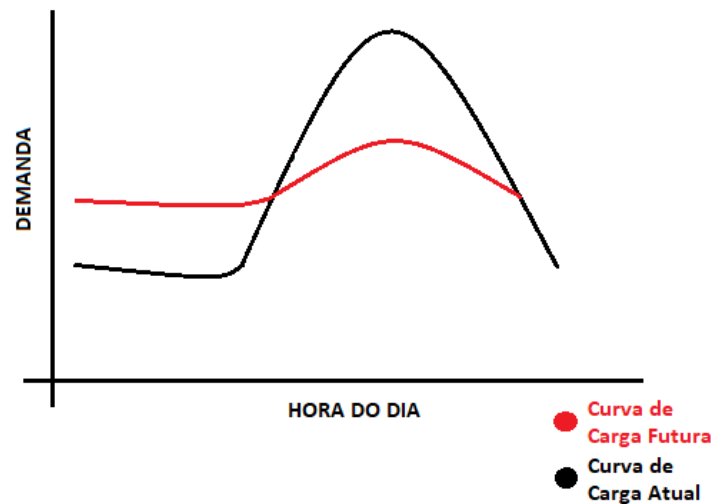
Fonte: Imagem de autoria própria.

A diminuição nos momentos de vale na curva de carga serão possíveis a partir das mudanças nas bandeiras tarifárias, de forma a incentivar o consumidor a utilizar seus equipamentos em horários de baixo consumo já que possuem as menores tarifas, diminuindo, assim, a conta de energia do consumidor e normalizando a curva de carga.

### 5.1.3 Transferência de Carga

A transferência de carga também tem o intuito de diminuir os picos da curva de carga, porém diferentemente da redução do pico, essa técnica têm a intenção de deslocar as cargas dos horários de pico para outros horários, diminuindo, assim, os picos da curva de carga.

Figura 22 – Transferência de carga



Fonte: Imagem de autoria própria.

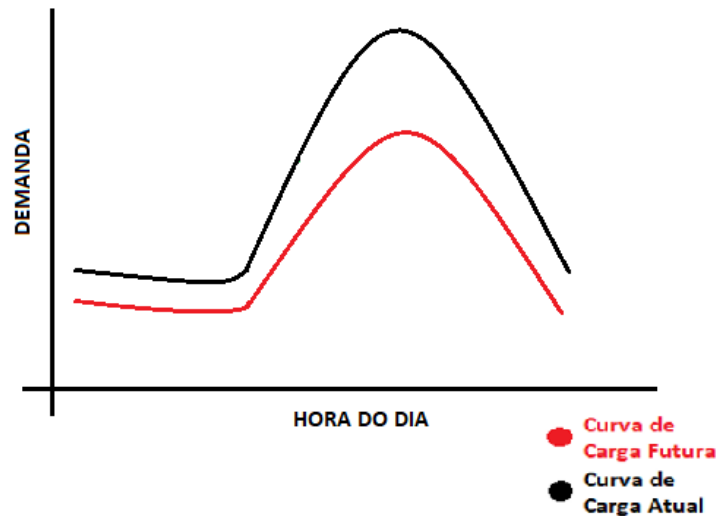
A maneira para que isso seja possível é a partir da mudança nas bandeiras tarifárias, de forma a incentivar os clientes a utilizarem seus equipamentos em horários alternativos no qual a bandeira tarifária seja menor.

Com os avanços em IoT também será possível que os consumidores programem seus aparelhos e equipamentos para que sejam ligados em determinados horários. A utilização dos medidores inteligentes conectados a um software de acompanhamento de consumo e a nova legislação tarifária incentivarão o consumidor a programar seus aparelhos a serem utilizados em momentos de menor tarifa.

#### 5.1.4 Conservação Estratégica

A conscientização da sociedade quanto a preservação ambiental têm crescido, refletindo em vários setores da sociedade. A tecnologia IoT, além de trazer as facilidades do dia a dia com a automatização dos aparelhos residenciais, também possibilitará uma visão de consumo dos aparelhos, dessa forma, as pessoas buscarão aparelhos automatizados, mas que também tenham baixo consumo de energia, diminuindo os gastos na conta de energia.

Figura 23 – Conservação estratégica



Fonte: Imagem de autoria própria.

A conservação estratégica caminha no sentido da diminuição do consumo, uma vez que as pessoas estejam se tornando mais conscientes do meio ambiente, mas também com tecnologias que permitam que a sociedade compreenda de forma aprofundada seu consumo de energia.

### 5.1.5 Crescimento Estratégico da Carga

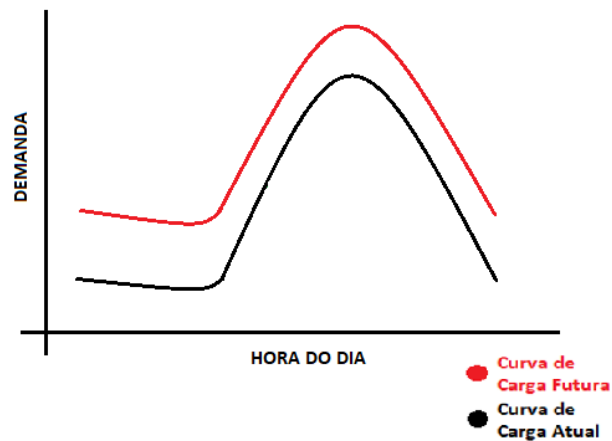
O crescimento estratégico de carga é uma forma de se incentivar o uso de energia, aumentando a geração e consumo e conseqüentemente o faturamento, mas também permitindo uma maior eficiência energética.

O crescimento estratégico tem como intuito ampliar o uso de energia respeitando a preservação ambiental, um dos pontos mais importantes para que isso seja possível se dá através da ampliação da geração distribuída bem como da ampliação das unidades geradoras que utilizem de energias renováveis, como a energia solar e eólica.

Um exemplo do aumento do uso de energia de forma estratégica é a produção de carros elétricos ao redor do mundo, onde em poucos anos muitos carros serão elétricos, o que acarretará maiores consumos de energia, porém se for analisado o impacto ambiental, esse será muito menor do que é hoje ao se utilizar carros movidos a combustíveis.



Figura 24 – Crescimento estratégico da carga



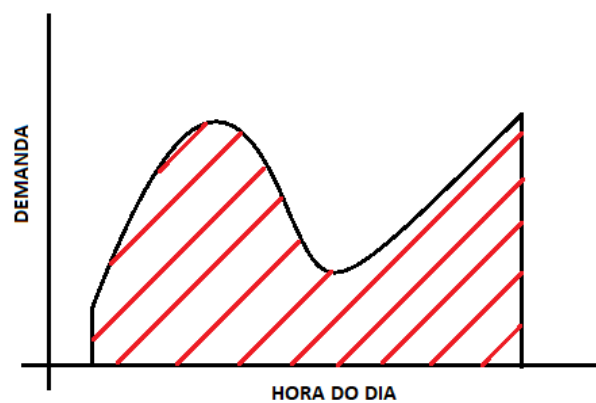
Fonte: Imagem de autoria própria.

### 5.1.6 Curva de Carga Flexível

A curva de carga flexível é uma proposta para que, futuramente, possam ser criados contratos específicos que deem opções de serviços diversos, podendo escolher por qualidade do serviço, tarifas específicas, gerenciamento aprimorado do consumo e até controle de cargas específicas.

Dessa forma, poderá ser feito contratos com a concessionária onde se estabelece um nível mínimo de qualidade, ou então, prioridade dos serviços frente a outros contratos, e até mesmo o controle de cargas de forma remota, a fim de se ter uma diminuição na conta e controle da curva de carga pelo lado da concessionária.

Figura 25 – Curva de carga flexível



Fonte: Imagem de autoria própria.

## 5.2 PRINCIPAIS EFEITOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO GLD

A inclusão do consumidor final na estratégia de distribuição de energia permitirá muitos avanços no sistema elétrico brasileiro, trazendo consigo melhorias para as concessionárias, clientes e meio ambiente.

A implementação do gerenciamento pelo lado da demanda será favorável às concessionárias no sentido de entregar aos clientes uma energia de melhor qualidade, permitirá maior eficiência energética, diminuirá perdas e não exigirá investimentos em novos equipamentos ou até mesmo na criação de novas unidades geradoras, já que o superdimensionamento para atender horários de pico não será tão grande quanto é hoje.

Já os consumidores terão uma energia de maior qualidade, poderão adequar seus equipamentos para baratear seu gasto com energia, assim como permitirá a geração de contas mais justas, já que as tarifas estarão de acordo com a utilização da energia ao longo do dia.

As mudanças com a implementação do GLD serão positivas para ambos os lados, concessionária e consumidor, assim como será benéfica para o meio ambiente, principalmente se analisado a diminuição das perdas energéticas e da não necessidade de criação de novas unidades geradoras, assim como o crescimento da geração distribuída através, principalmente, da energia solar.

## 6 INVESTIMENTO E RETORNO EM SMART METERS

O estudo refere-se ao investimento necessário por parte de governo e empresas envolvidas ao investirem em medidores inteligentes e as demais tecnologias que lhe acompanham, dessa maneira o intuito é entender as características dos consumidores quanto ao consumo de energia e demonstrar se há viabilidade financeira em implementar medidores inteligentes nas unidades consumidoras.

Para isso serão utilizados nesse estudo, hábitos de consumo que se assemelhem aos hábitos de consumo da população brasileira, já que os estudos da população sobre consumo de energia não são, ainda, totalmente precisos.

Esse estudo tem o intuito de entender a viabilidade financeira da região sudeste, sendo possível, posteriormente, ser adaptado para as demais regiões.

O estudo também abordará algumas questões de incentivos (econômicos, sociais e ambientais) pelas partes envolvidas de forma a tornar a alteração do sistema elétrico atrativo aos consumidores.

### 6.1 INVESTIMENTO NECESSÁRIO

O investimento necessário para a implementação de um sistema de medição inteligente nas unidades consumidoras não se limita apenas à aquisição de um medidor inteligente. Além do medidor inteligente, deve-se ter em mente que haverá gastos com rede HAN e display smart para os locais que não contem com a rede, assim como haverá gastos com infraestrutura de telecomunicações, automação e TI.

Os dados apresentados abaixo foram extraídos da tese de doutorado do autor Hugo Lamin de 2013.

#### 6.1.1 Medidor Inteligente (Aquisição + Instalação)

O medidor inteligente é o ponto central na análise de investimento, pois além de configurar o maior gasto dos itens necessários, também é utilizado como base para o cálculo de outros itens como equipamentos de telecomunicações, TI e automação.

O valor a ser utilizado para o medidor inteligente não diferencia se é um medidor monofásico, bifásico ou trifásico, bem como não diferencia qual o tipo de cliente em baixa tensão (residencial, comercial ou industrial). De acordo com Lamin (2013), após a realização de uma

pesquisa de preços com alguns fabricantes brasileiros, o custo unitário do medidor inteligente é de R\$355,00.

Além disso, com o crescimento do setor e os avanços tecnológicos, a tendência é que os custos envolvendo equipamentos de smart grid caiam de preço em 1,5% ao ano. Então, até o ano de 2034, no qual estima-se ser o ano de saturação das tecnologias de smart grid, o preço dos medidores inteligentes deva cair 30%, alcançando o valor de R\$248,50.

Junto a aquisição do medidor inteligente, deve ser considerado o custo de instalação do equipamento, que para o estudo será estimado em R\$ 20,00 por unidade consumidora. Assim, o custo inicial de aquisição e instalação do medidor inteligente é de R\$ 375,00.

### **6.1.2 In Home Display + Rede HAN**

Em alguns casos, a instalação do medidor inteligente pode ser acompanhada da instalação de um display que retorne ao usuário dados referentes ao seu consumo de energia. Quando a instalação do display é necessária, também é importante a adaptação da rede HAN (Home Area Network) que permita a comunicação dos dados entre medidor inteligente e display.

Para o estudo em questão será considerado o valor de R\$ 125,00 para a aquisição do IHD e da rede HAN. Considerando, ainda, a redução anual dos custos em 1,5%, pode-se dizer que no ano de 2034, o custo para aquisição do IHD junto a rede HAN seja de R\$ 87,50.

Deve-se considerar, também, o custo de instalação do IHD com a rede HAN que mantém um preço fixo de R\$ 20,00.

### **6.1.3 Infraestrutura de Telecomunicações**

Para que o estudo contemple o maior número de alterações necessárias na rede, serão considerados também os custos de modificações das infraestruturas de telecomunicações para que torne viável a utilização dos medidores inteligentes.

Portanto, serão considerados os custos envolvendo redes (NAN, WAN, RAN), a comunicação dos medidores inteligentes com as centrais e, posteriormente, ao centro de operação da distribuidora, que contempla equipamentos como, concentradores, antenas, coletores, repetidores e demais dispositivos de envio, propagação e recepção de dados.

Os custos envolvendo infraestrutura de telecomunicações foi estimado em 40% do custo dos medidores inteligentes, sendo assim deve-se considerar o valor de R\$ 142,00 por unidade consumidora para as modificações necessárias em telecomunicações.

Esse valor tende a cair a cada ano, sendo que a expectativa é de que o custo com a infraestrutura de telecomunicações atinja o valor de R\$ 99,40 no ano de 2034.

#### **6.1.4 Infraestrutura de Automação**

O estudo também considera os custos de automatização de redes e subestações, e a aquisição e instalação de equipamentos de manobra e controle como, por exemplo, religadores automáticos em saídas de alimentadores, chaves automatizadas de operação sob carga, sensores de estado e unidades remotas, assim como alguns dispositivos eletrônicos inteligentes.

O investimento em automação por unidade consumidora é o resultado de um estudo de clusters das unidades consumidoras, onde as UC's foram agrupadas em trinta redes elétricas representativas com o intuito de se entender qual investimento médio deve ser feito em automação visando uma maior qualidade da energia (LAMIN, 2013).

A partir dos clusters em estudo e do número de unidades consumidoras em cada cluster foi estimado um valor médio de investimento em automação por UC, dessa maneira o custo com automação de toda a rede elétrica é de R\$ 17,15 por UC (4,5% do valor do medidor), de acordo com o estudo feito por Lamin (2013).

Para que o estudo possa ser feito de forma conservadora, estimou-se o valor de R\$ 53,25 com equipamentos de automação por unidade consumidora (15% do valor do medidor). Assim, espera-se que o custo com equipamentos de automação caia para R\$ 37,28 no ano de 2034.

#### **6.1.5 Infraestrutura de TI**

Os custos com o desenvolvimento de softwares e hardwares das diversas plataformas de gerenciamento e controle, assim como os custos com processamento, bancos de dados, web sites e sistemas de segurança da informação serão incluídas no estudo com o intuito de assegurar a semelhança com o investimento real.

Para os custos envolvendo TI, foram estimados 15% do valor do medidor inteligente, ou seja, o custo de infraestrutura de TI por UC é de R\$ 53,25, sendo que esse valor tende a baixar até R\$ 37,28 no ano de 2034.

Tabela 1 – Investimento, por item, em medidores inteligentes

ITEM	Custo por UC (R\$)	Custo por UC (R\$)	Custo por UC (R\$)	Observações
	2014	2020	2034	
Medidor Inteligente	355,00	323,05	248,50	Valor de aquisição do medidor inteligente
Instalação do Medidor Inteligente	20,00	20,00	20,00	Valor de instalação do medidor inteligente. É um valor constante.
IHD + HAN	125,00	113,75	87,50	Valor de aquisição do IHD, já incluindo custos com rede Home Area Network - HAN.
Instalação do IHD	20,00	20,00	20,00	Valor de instalação do IHD com HAN. É um valor constante.
Equipamentos de Telecomunicações	142,00	129,22	99,40	O valor considerado é referente à aquisição e à instalação e é equivalente a 40% do valor de aquisição do medidor.
Automação	53,25	48,45	37,28	O valor considerado é referente à aquisição e à instalação e é equivalente a 15% do valor do medidor.
TI	53,25	48,45	37,28	O valor considerado é referente à aquisição e à instalação e é equivalente a 15% do valor do medidor.
<b>Total Investido (sem IHD)</b>	<b>623,50</b>	<b>569,17</b>	<b>442,46</b>	Total gasto por UC, não incluindo despesas com IHDs.
<b>Total Investido (com IHD)</b>	<b>768,50</b>	<b>702,92</b>	<b>549,96</b>	Total gasto por UC, incluindo despesas com IHDs.

Fonte: Adaptado de Hugo Lamin (2013).

A tabela acima é um compilado de informações sobre os custos para implantação do medidor inteligente junto às tecnologias envolvidas, diferenciando o investimento de acordo com os anos de 2014, 2020 e 2034.

Figura 26 – Consumidores por região geográfica (a cada mil UC's)

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)	Part. % (2018)	
<b>Brasil</b>	<b>77.171</b>	<b>79.107</b>	<b>80.624</b>	<b>82.464</b>	<b>83.682</b>	<b>1,5</b>	<b>100</b>	<b>Brazil</b>
Norte	4.748	4.957	5.174	5.408	5.509	1,9	6,6	North
Nordeste	20.321	20.903	21.425	21.835	22.148	1,4	26,5	Northeast
Sudeste	34.500	35.220	35.713	36.511	36.943	1,2	44,1	Southeast
Sul	11.602	11.848	12.030	12.299	12.539	1,9	15,0	South
Centro-Oeste	6.002	6.180	6.282	6.410	6.542	2,1	7,8	Midwest

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2019).

A figura 26 traz a quantidade de unidades consumidoras por região do Brasil, dessa forma para o estudo será utilizado a informação da região sudeste. Para que a análise possa ser feita, será considerado o número de unidades consumidoras da região sudeste em 2018.

Tabela 2 – Investimento Total em smart meters na Região Sudeste

	Investimento por UC (R\$)	Quantidade de UC's na região sudeste	Investimento Total (R\$)
2014	768,50	36.943.000	28.390.695.500,00
2020	702,92	36.943.000	25.967.973.560,00
2030	549,96	36.943.000	20.317.172.280,00

Fonte: Tabela de autoria própria.

Utilizando-se dos dados da região sudeste de 2018 é possível prever o investimento necessário para a implementação das smart meters. Assim, o investimento em 2014 seria de 28,3 bilhões de reais enquanto em 2030 o valor cairia para 20,3 bilhões de reais.

Importante ressaltar que tal investimento não contempla todo o projeto de implantação da smart grid na região, uma vez que há outras tecnologias envolvidas e que não estão presentes no estudo, entre elas vale destacar o investimento em geração descentralizada, nas centrais de informação, nas melhorias em linhas de transmissão, entre outros.

## 6.2 TARIFA CONVENCIONAL x TARIFA BRANCA

Espera-se, com a implantação da tarifa branca, uma alteração nos hábitos de consumo de energia da população afim de se reduzir as faturas de energia, adequando o consumo para os horários de menor tarifa.

Dessa forma, a tarifa branca pode ser vista como o principal motivador para que os clientes optem por alterar seus medidores de energia. A tarifa branca traz a vantagem de possuir tarifas discretas de acordo com o horário de consumo e do comportamento da curva de carga, enquanto a tarifa convencional possui um valor único independente do horário ou dia do mês.

Tabela 3 – Valores tarifários de energia (Consumo + ICMS)

Modalidade	Ponta	Intermediário	Fora de Ponta
Tarifa Convencional (R\$/KWh)	0,53419	0,53419	0,53419
Tarifa Branca (R\$/KWH)	1,00443	0,65321	0,44761

Fonte: Adaptado da Enel (2020).

A fatura gerada com a tarifa convencional é uma multiplicação da demanda diária pelos 30 dias do mês, multiplicado, ao final, pelo valor da tarifa. Dessa forma, a fatura gerada equivale a seguinte equação:

$$X = (D_{diaria} * Tarifa) * 30 \quad (1)$$

Já ao se utilizar a tarifa branca, deve-se levar em consideração que aos finais de semana e feriado a modalidade é a fora de ponta, enquanto durante a semana a modalidade se divide em três horários. Dessa forma, a fatura gerada respeita a seguinte equação:

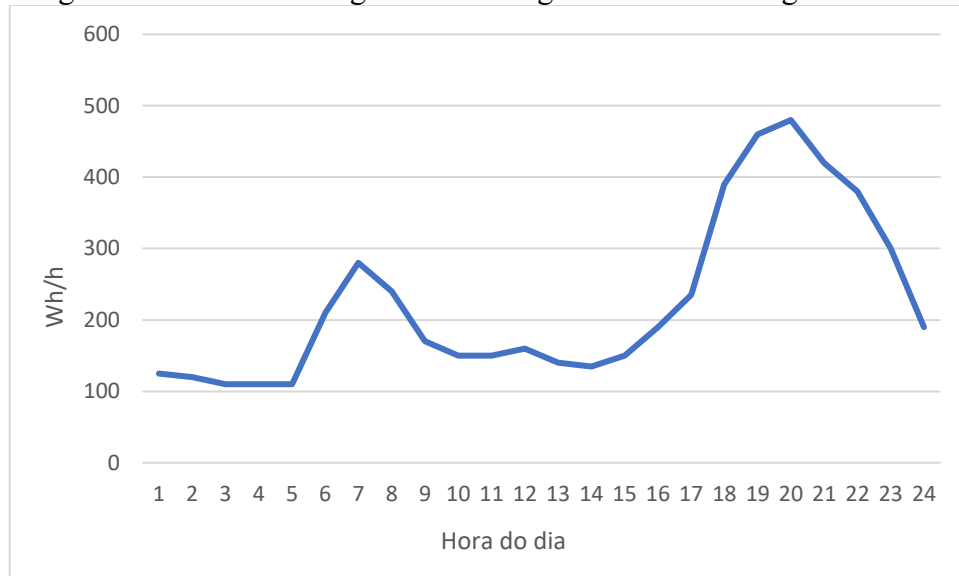
$$X = \left( (D_{ponta} * horas * Tarifa * 22) + (D_{intermediária} * horas * Tarifa * 22) + (D_{foradeponta} * horas * Tarifa * 22) + (D_{foradeponta} * horas * Tarifa * 8) \right) \quad (2)$$



### 6.3 ANÁLISE TARIFÁRIA DA REGIÃO SUDESTE

Para o estudo da região sudeste será utilizado os dados gerados a partir do sistema SIN-PHA que permite simulações de carga de equipamentos de acordo com cada região do país (RIGODANZO, 2015).

Figura 27 – Curva de carga média da região sudeste ao longo de um dia



Fonte: Adaptado de Rigodanzo (2015).

A figura 27 representa a curva de carga média da região sudeste de acordo com o horário. Para que o estudo seja claro, a análise será feita por perfil de consumo considerando a mesma demanda em todos os casos.

- Perfil 1: Tarifa Convencional Favorável.

Figura 28 – Perfil de consumo favorável a utilização da tarifa convencional



	Consumo (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Total (R\$)
Tarifa Convencional	162,15	0,534	86,58
Tarifa Branca			
Fora de Ponta	118,48	0,448	
Intermediária	14,41	0,653	91,87
Ponta	29,26	1,004	

Fonte: Imagem de autoria própria.

A figura 28 utiliza da curva de carga média da região sudeste para que seja feita a análise das duas tarifas. É importante notar o alto consumo de energia concentrado em algumas horas do dia, consumo que causa uma série de entraves as concessionárias, usinas geradoras, linhas de transmissão, entre outros.

É possível perceber um aumento no valor da conta de energia caso seja utilizado a tarifa branca, o que já é esperado, uma vez que o intuito da utilização da tarifa branca é que os consumidores adaptem seu consumo na intenção de reduzir o valor da conta de energia.

- Perfil 2: Não há distinção financeira entre as duas tarifas

Figura 29 – Perfil de consumo onde não há distinção no valor da conta



Perfil 2: Não há distinção entre tarifas

HORA	1	2	3	4	5	6
DEMANDA (Wh/h)	125	120	110	110	110	210
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478

HORA	7	8	9	10	11	12
DEMANDA (Wh/h)	280	240	170	150	150	160
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478

HORA	13	14	15	16	17	18
DEMANDA (Wh/h)	140	135	170	285	353	254,55
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,32629	0,51792
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478

HORA	19	20	21	22	23	24
DEMANDA (Wh/h)	304,55	304,55	463	400	370,45	290
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,51792	0,51792	0,32629	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478

	Consumo (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Total (R\$)
Tarifa Convencional	162,15	0,534	86,58
Tarifa Branca			
Fora de Ponta	125,20	0,448	
Intermediária	18,80	0,653	86,58
Ponta	18,15	1,004	

Fonte: Imagem de autoria própria.

A figura 29 ilustra a situação em que não há diferenças, analisando pelo valor da conta de energia, no uso das tarifas. Para que essa situação possa ocorrer é necessário que haja uma queda na demanda nos horários de pico (cerca de 460 Wh/h) enquanto essa mesma demanda seja realocada para o período intermediário e fora de ponta.

A curva de carga gerada permite perceber que a redistribuição de demanda de nada será vantajosa se não houver a intenção de limitar picos de carga, nesse caso pode-se notar que por mais que haja uma redução do pico no horário de ponta há o surgimento de um novo pico no horário intermediário.

Para que o surgimento de novos picos de carga não ocorra é importante que seja feita um trabalho aprofundado de conscientização da população, avanço das tecnologias envolvidas, desenvolvimento do programa de gerenciamento pelo lado da demanda, bem como outras ações.

- Perfil 3: Tarifa Branca Favorável

Figura 30 – Perfil de consumo favorável a utilização da Tarifa Branca



Perfil 3: Tarifa Branca Favorável

HORA	1	2	3	4	5	6
DEMANDA(Wh/h)	125	120	110	110	110	210
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478
HORA	7	8	9	10	11	12
DEMANDA(Wh/h)	280	240	170	150	150	160
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478
HORA	13	14	15	16	17	18
DEMANDA(Wh/h)	151,82	135	230	335	353	244,7
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,22419	0,22419	0,22419	0,22419	0,32629	0,51792
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478
HORA	19	20	21	22	23	24
DEMANDA(Wh/h)	244,7	244,7	410,68	400	370,45	350
TARIFA BRANCA (R\$/kWh)	0,51792	0,51792	0,32629	0,22419	0,22419	0,22419
TARIFA CONVENCIONAL (R\$/kWh)	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478	0,28478

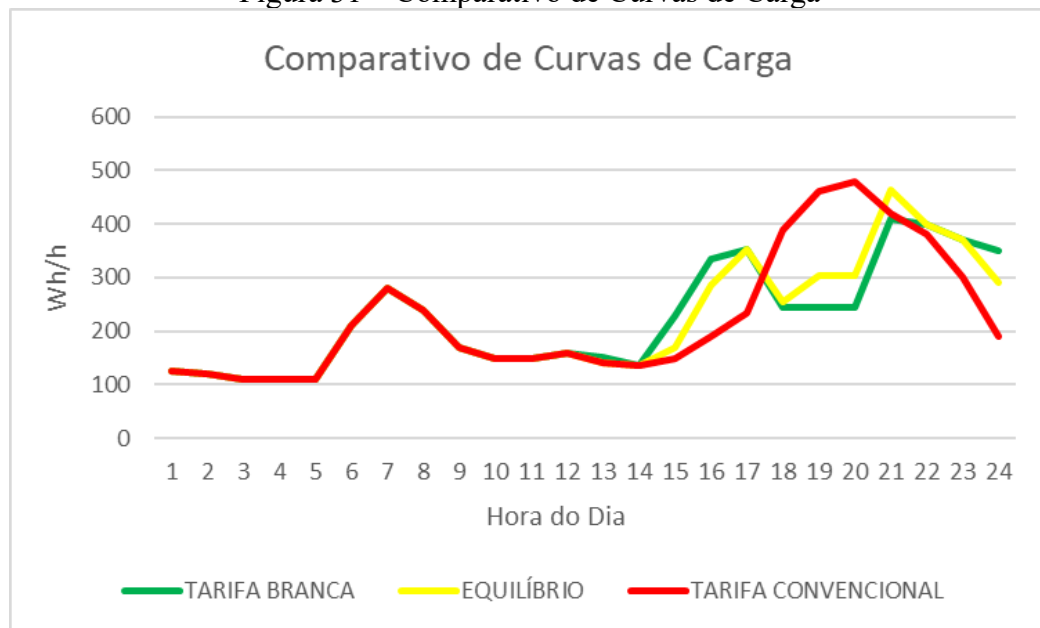
	Consumo (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Total (R\$)
Tarifa Convencional	162,15	0,534	86,58
Tarifa Branca			
Fora de Ponta	129,20	0,448	
Intermediária	16,80	0,653	85,06
Ponta	16,15	1,004	

Fonte: Imagem de autoria própria.

A figura 30 mostra uma situação em que a tarifa branca é benéfica ao consumidor se analisado o valor da conta de energia. Para que haja a redução de R\$ 1,52, se comparado a tarifa convencional, na conta de energia é necessário que seja feita a redistribuição das demandas durante o dia de forma a diminuir o consumo nos horários de ponta. A redistribuição de demanda, nesse caso, contou com uma queda de 596 Wh/h no horário de pico, demanda que foi distribuída em outros horários do dia.

Outra análise plausível de ser feita é a comparação dos valores obtidos do perfil 1 e 3, onde, em um cenário com a tarifa branca vigente em larga escala, seria mais atraente ao consumidor alterar seu padrão de consumo já que teria uma economia de R\$ 6,81 ao mês.

Figura 31 – Comparativo de Curvas de Carga



Fonte: Imagem de autoria própria.

A figura 31 exibe a curva de carga para os três perfis analisados, assim pode-se notar uma queda da demanda no horário de pico para o perfil 2 e 3 se comparado ao perfil 1 e um conseqüente aumento da demanda no horário fora de ponta e intermediário.

## 6.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Embora o investimento necessário para a implantação dos smart meters na região sudeste seja elevado, a expectativa de retorno financeiro se dá em algumas frentes de atuação, já que a adaptação do sistema elétrico, o tornando mais inteligente, permitirá o controle da curva de carga diminuindo picos de demanda. A diminuição dos picos de carga é atrativa no sentido de não necessitar de expansões das unidades geradoras a fim de atender tais picos, o mesmo ocorre para todos os equipamentos envolvidos na transmissão e distribuição de energia.

Por mais que o investimento de até 28 bilhões de reais seja elevado, é plausível a continuação do projeto uma vez confrontada, por exemplo, com o custo por perdas não técnicas que alcança o patamar de 8 bilhões de reais ao ano (ANEEL, 2011).

Outro ponto importante é a quantidade de informações geradas a partir do uso de smart meters, o que reflete em um gerenciamento de qualidade da energia distribuída, possibilitando a diminuição das perdas técnicas e principalmente não técnicas.

O investimento também deve ser analisado em questões sociais e ambientais, pois é de responsabilidade do governo amparar a população com avanços nas duas frentes. Portanto é de

se esperar que o investimento não tenha como foco apenas o retorno financeiro, mas também uma melhora nas condições de vida da população.

Assim sendo, a implantação da smart grid no Brasil tem como necessidade uma maior preservação ambiental advindas da expansão da energia descentralizada e limpa, bem como a melhoria das condições de vida da população à partir de incentivos fiscais direcionados a população de baixa renda, como por exemplo, a aplicação de incentivos para a implantação de energia solar nas residências, que além de ampliar a preservação ambiental permite que o consumidor diminua o valor da sua conta de energia ao enviar energia de volta ao sistema.

Algo que deve ser analisado de forma ampla é em relação a tarifação vigente, uma vez que, como pôde ser visto nos perfis acima, por mais que haja uma queda grande no consumo em horário de pico, tal queda não reflete em uma grande economia ao consumidor. Tal análise se baseia no perfil 3 aonde há uma economia de R\$ 1,52 referente a queda de consumo de 596Wh/h no horário de pico, se comparado ao uso da tarifa convencional, dessa maneira, pode-se concluir que a economia mensal não torne a alteração do sistema elétrico atrativo aos clientes.

Além disso, ao analisar dois cenários (Perfil 1 e 3) em relação ao valor da conta gerado a partir do uso da tarifa branca, nota-se uma economia de R\$ 6,81 ao mês. Esse cenário pode não ser atraente para grande parte da população, uma vez que a economia mensal não é tão grande se comparado ao esforço necessário para a alteração do padrão de consumo de energia.

Ainda que a tarifação branca seja mais coerente, pois analisa o consumo de forma individualizada, faz-se necessário um estudo maior quanto ao plano de tarifação em um sistema smart grid, de forma que seja atrativo ao cliente realizar a migração ao sistema inteligente e alterar seu perfil de consumo.

Vale ressaltar que o estudo não contempla uma série de indicadores que permitiriam uma análise completa do tema, uma vez que o levantamento não conta com as diferentes bandeiras tarifárias vigentes atualmente, se limita ao estudo de uma única região do país, não abrange todas as tecnologias envolvidas, entre outros motivos.

## 7 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível notar a importância do tema no mundo atual, evidenciando a importância da utilização de novas tecnologias nos sistemas elétricos, a fim de tornar o sistema eficiente e preciso, aumentar a qualidade da energia, bem como ampliar as áreas de negócio do setor elétrico ao introduzir uma visão estratégica baseada em variados tipos de informações geradas.

Para que o desenvolvimento do tema de redes inteligentes fosse possível foi essencial a abordagem sobre a Internet das Coisas, já que as tecnologias relacionadas a IoT são base para o desenvolvimento das smart grids. Portanto, pode-se extrair do conteúdo dessa monografia a importância do desenvolvimento das áreas de telecomunicações, tecnologia da informação, automação, segurança da informação, entre outros.

O trabalho ainda permitiu um contato maior com os medidores inteligentes, ao demonstrar seus benefícios em relação a outros tipos de medidores, ao incluir exemplos de medidores em comercialização, e esclarecer sobre plataformas de gerenciamento dos medidores inteligentes.

A abordagem sobre tarifas de energia foi essencial para o entendimento de um dos pontos mais impactantes aos consumidores, já que a alteração do tipo de tarifa utilizado terá como consequência uma abordagem individualizada do cliente, permitindo que o mesmo tenha maior conhecimento sobre seus gastos, bem como a capacidade de ajustar o valor da sua conta de energia sem a necessidade de diminuir o uso da energia elétrica.

O trabalho também permitiu entender o conceito de gerenciamento pelo lado da demanda, ao inserir o cliente como parte essencial na estratégia de negócio, permitindo que o cliente tenha um maior controle sobre sua fatura e ele seja parte importante na normalização da curva de carga.

Através do estudo de caso foi possível abordar questões relacionadas ao investimento em smart grid, trazendo uma visão de investimento das partes interessadas. Assim como permitiu a visualização de um cenário onde a tarifa branca seja a tarifa vigente, o que levantou questionamentos que devem ser feitos pelas partes envolvidas de forma a tornar a smart grid atrativa aos clientes.

Pode-se concluir, com a elaboração deste trabalho, que os temas de smart grid e IoT estão no início de seu desenvolvimento, porém que muito já está sendo feito para viabilizar a implantação das tecnologias, assim como diversos outros estudos acadêmicos fortalecem, cada vez mais, as novas possibilidades envolvendo redes inteligentes.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. **Sistemas de medição fasorial sincronizada**: aplicações para melhoria da operação de sistemas elétricos de potência. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8D3FHK/1/sonia\\_ribeiro\\_campos\\_andrade.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8D3FHK/1/sonia_ribeiro_campos_andrade.pdf). Acesso em: 18 fev. 2021.

ANEEL. Consumo irregular de energia gera prejuízo de R\$ 8,1 bilhões ao ano. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 31 mai. 2011. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/home?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_assetEntryId=14570296&\\_101\\_type=content&\\_101\\_groupId=656877&\\_101\\_urlTitle=consumo-irregular-de-energia-gera-prejuizo-de-r-8-1-bilhoes-ao-ano&inheritRedirect=true#:~:text=bilh%C3%B5es%20ao%20ano-,Consumo%20irregular%20de%20energia%20gera%20preju%C3%ADzo%20de,8%2C1%20bilh%C3%B5es%20ao%20ano&text=O%20preju%C3%ADzo%20com%20perdas%20n%C3%A3o,per%C3%ADodo%20de%202007%20a%202010](https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14570296&_101_type=content&_101_groupId=656877&_101_urlTitle=consumo-irregular-de-energia-gera-prejuizo-de-r-8-1-bilhoes-ao-ano&inheritRedirect=true#:~:text=bilh%C3%B5es%20ao%20ano-,Consumo%20irregular%20de%20energia%20gera%20preju%C3%ADzo%20de,8%2C1%20bilh%C3%B5es%20ao%20ano&text=O%20preju%C3%ADzo%20com%20perdas%20n%C3%A3o,per%C3%ADodo%20de%202007%20a%202010). Acesso em: 7 ago. 2020.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Perdas de energia elétrica na distribuição. Brasília, 2019. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia\\_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf](https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2019-02-07.pdf). Acesso em: 2 out. 2020.

ANEEL. **Tarifa branca**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 18 fev. 2021.

ASIAN POWER. China to remain global leader in smart grid technology. **Asian Power**, 13 mai. 2020. Disponível em: <https://asian-power.com/power-utility/news/china-remain-global-leader-in-smart-grid-technology>. Acesso em: 29 jul. 2020.

BONAT, J. **Projeto Paraná smart grid**. COPEL. 29 slides. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/0de05d87a1dab43483256bb8003b08ef/c2a8127318210af303257d400046a514/\\$FILE/22-08%20Parana\\_Smart\\_Grid\\_Copel\\_Conselho%20de%20Consumidores.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/0de05d87a1dab43483256bb8003b08ef/c2a8127318210af303257d400046a514/$FILE/22-08%20Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho%20de%20Consumidores.pdf). Acesso em: 16 ago. 2020.

CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda**: um estudo de caso. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29102004-105201/publico/CamposAlexandredissertacao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

CANAL ENERGIA. Light alcança metade dos dispositivos em seu projeto de smart grid. **Canal Energia**, 06 nov. 2017. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53040436/light-alcanca-metade-dos-dispositivos-em-seu-projeto-de-smart-grid>. Acesso em: 25 ago. 2020.



EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário estatístico de energia elétrica: ano base 2018. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio\\_2019\\_WEB\\_alterado.pdf](https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB_alterado.pdf). Acesso em: 15 fev. 2021.

FACCIONI, M. **IoT: smart grid, energia e sistemas de infraestrutura**. Palhoça, SC: UnisulVirtual, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337496016\\_IoT\\_Smart\\_Grid\\_Energia\\_e\\_Sistemas\\_de\\_Infraestrutura](https://www.researchgate.net/publication/337496016_IoT_Smart_Grid_Energia_e_Sistemas_de_Infraestrutura). Acesso em: 20 out. 2020.

JUNG, D.; LANGSTON, R.; SAYERS, S. **China: rise of the smart grid**. Zpryme's Smart Grid Insights, 2011. 8 slides. SlideShare. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/zpryme/china-rise-of-the-smart-grid-by-zpryme-research-january-2011/>. Acesso em: 12 fev. 2021.

KLAIMI, J.; RAHIM, A. R.; MERGHEM, B. L. **Agent-based modeling of sustainable behaviors**. Suíça, Cham: Springer, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46331-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46331-5_11). Acesso em: 9 fev. 2021.

LAMIN, H. **Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/13962>. Acesso em: 20 out. 2020.

LANDIS+GYR. **Medidores E450**. Landis+Gyr, [2020]. Disponível em: <https://www.landisgyr.com.br/product/e450/>. Acesso em: 5 out. 2020.

MARCONDES, J. **InovCity Aparecida: implementando um projeto de redes inteligentes na EDP Brasil**. EDP, 2012. 31 slides. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12458635-Inovcity-aparecida-inovcity-aparecida-implementando-um-projeto-de-redes-inteligentes-na-edp-brasil.html>. Acesso em: 13 ago. 2020.

MOYA, A. Perdas no sistema elétrico de potência. **Adolpho Eletricista**. São Paulo, 10 jan. 2018. Disponível em: <https://www.adolphoeletricista.com.br/perdas/>. Acesso em: 25 jul. 2020.

MONTINI. Medidor de energia elétrica. **Almanaque de Metrologia IPEM**, 24 ago. 2020. Disponível em: <https://ipemsp.wordpress.com/author/pmontini/page/2/>. Acesso em: 2 out. 2020.

NANSEN. **Medidores NSXi**. Nansen, [2020]. Disponível em: <http://nansen.com.br/medidores/nsxi/>. Acesso em: 5 out. 2020.

NHEDE, N. US smart grid market, twists and turns, analysis. **Smart Energy International**, 06 fev. 2018. Disponível em: <https://www.smart-energy.com/features-analysis/us-smart-grid-market-analysis/>. Acesso em: 31 jul. 2020.

PELIELO, G.; ACCÁCIO, R.; MOYSÉS, R. **Smart grid: redes inteligentes**. 2016. Monografia (Trabalho Acadêmico em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: [https://www.gta.ufrj.br/ensino/ee1878/redes1-2016-1/16\\_1/smartgrid/](https://www.gta.ufrj.br/ensino/ee1878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/). Acesso em: 15 fev. 2021.

RAMAMURTHY, A.; JAIN, P. The internet of things in the power sector - opportunities in Asia and the Pacific. **ADB Sustainable Development Working Paper Series**, Philippines, n. 48, p. 1 - 36, Aug. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22617/WPS178914-2>. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/350011/sdwp-48.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. Overview of the internet of things: recommendation ITU-T Y.2060, 2012. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/en>. Acesso em: 14 fev. 2021.

RIGODANZO, J. **Instalação de medidores inteligentes no Brasil: uma análise econômica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8571/RIGODANZO%2C%20JONAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 out. 2020.

RIHAN, M.; AHMAD, M. Developing smart grid in India: background and progress. *In: IEEE PES Conference, 2011. Innovative Smart Grid Technologies*. Arabia Saudita, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/254038976\\_Developing\\_smart\\_grid\\_in\\_India\\_Background\\_and\\_progress](https://www.researchgate.net/publication/254038976_Developing_smart_grid_in_India_Background_and_progress). Acesso em: 2 ago. 2020.

SANTOS, B. P. *et al.* **Internet das coisas: da teoria à prática**. 2016. Monografia (Trabalho Acadêmico em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

SANTOS, R. C. Por R\$ 75 milhões, projeto piloto de smart grid avança em Barueri. **INFRA-ROI**, 27 set. 2017. Disponível em: <http://infraroi.com.br/por-r-75-milhoes-projeto-piloto-de-smart-grid-avanca-em-barueri/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

TOLEDO, F. **Programa smart grid Light**. LIGHT, 2012. 14 slides. SlidePlayer. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/3632968/>. Acesso em: 18 set. 2020.

WEG. **Medidores inteligentes de energia SMW**. WEG, [2020]. Disponível em: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Multimedidores-e-Medidores-Inteligentes/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/p/MKT\\_WDC\\_BRAZIL\\_METERS\\_SMW](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Multimedidores-e-Medidores-Inteligentes/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/Medidores-Inteligentes-de-Energia-SMW/p/MKT_WDC_BRAZIL_METERS_SMW). Acesso em: 5 out. 2020.

WILNER, T. China promises \$61.4bn smart grid market. **Environmental Leader**, 14 jan. 2011. Disponível em: <https://www.environmentalleader.com/2011/01/china-promises-61-4bn-smart-grid-market/>. Acesso em: 13 fev. 2021.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARNOLD, G. W.; Challenges and opportunities in smart grid: a position article. **Proceedings of the IEEE**, v. 99, p. 922 - 927, 2011.

ARRUDA, M. V. **Implementação de projetos smart grid no Brasil**. 2013. Monografia - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Cuiabá, 2013.

CAMARGO, V. G. O. **Medidores inteligentes: o primeiro passo em direção às redes inteligentes**. 2011. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CUNHA, M. V. **Estratégias de gerenciamento pelo lado da demanda aplicada aos consumidores de BT considerando a tarifa branca e a geração distribuída**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

FORTUNATO, M.; SOUZA, M. P.; SICA, E. T.; MENEZES, P. L. **Uma análise do gerenciamento pelo lado da demanda aplicado ao conceito de microgrids**. 2014. Monografia (Trabalho Acadêmico em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

MIKOS, A. P.; SCHIOCHET, B.; COSTA, G. A. **Estudo de viabilidade técnica da implementação de tecnologias de smart grid em consumidores finais**. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

YAN Y.; QIAN Y.; SHARIF H.; TIPPER D. **A survey on smart grid communication infrastructures: motivations, requirements and challenges**. *In: IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2012.