

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT  
ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA  
ÊNFASE EM ELETROTÉCNICA

ANDREW PHILIP MIKOS  
BRUNO SCHIOCHET  
GERMANO ALVES DA COSTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE  
TECNOLOGIAS DE SMART GRID EM CONSUMIDORES FINAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

ANDREW PHILIP MIKOS  
BRUNO SCHIOCHET  
GERMANO ALVES DA COSTA

## **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE SMART GRID EM CONSUMIDORES FINAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Marcio Aparecido Batista.

CURITIBA  
2014

Andrew Philip Mikos  
Bruno Schiochet  
Germano Alves da Costa

## **Estudo de Viabilidade técnica da implementação de tecnologias de SMART GRID em consumidores finais**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 13 de agosto de 2014.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Industrial Elétrica

---

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Ma.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
De Engenharia Industrial Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Marcio Aparecido Batista, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Marcio Aparecido Batista, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ubirajara Zoccoli, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos norteado para a escolha deste curso e ter nos acompanhado na passagem de cada semestre letivo, fazendo com que a desistência não tomasse conta da nossa mente.

Ao professor Me. Márcio Aparecido Batista, por ter nos acolhido e nos direcionado na construção deste trabalho, através de correções, revisões e conselhos, mostrando disposição e paciência em ajudar para o sucesso do trabalho final.

Aos professores Carlos Henrique Karam Salata, Esp. e Ubirajara Zoccoli, Me. pela participação na banca examinadora, contribuindo por meio de suas críticas, análises e opiniões para o enriquecimento e desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Furukawa Industrial S.A. e aos companheiros de trabalho, em especial ao Sr. Nelson Saito da Gerência Técnica de Sistemas (GTS), que nos autorizou a utilização dos dados coletados nos laboratórios da empresa, possibilitando o enriquecimento desse trabalho com todas as ferramentas, conhecimentos técnicos e experiências que foram fundamentais para a construção do mesmo.

Aos amigos, familiares e especialmente aos pais, irmãos e namoradas, por terem nos fortalecido cotidianamente com gestos de amor, carinho, paciência e confiança.

Por fim, às pessoas que participaram direta ou indiretamente para a construção deste trabalho, e que não foram explicitamente citadas acima, mas que com toda a certeza tiveram suas contribuições e ficamos totalmente gratos pelos auxílios, incentivos, confiança e paciência que foram prestados.

*"Para ter sucesso neste mundo não basta ser estúpido, é preciso também ter boas maneiras."*

**Voltaire**

## RESUMO

MIKOS, Andrew Philip; SCHIOCHET, Bruno; COSTA, Germano Alves. **Estudo de viabilidade técnica da implementação de tecnologias de Smart Grid em consumidores finais visando à eficiência energética.** 2014. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

O conceito de *Smart Grid* constitui, a infraestrutura que integra equipamentos e redes de comunicação de dados ao sistema de fornecimento de energia elétrica. O que se busca com as redes inteligentes nada mais é do que levar as inovações tecnológicas para o setor elétrico, que é um segmento de fundamental importância para qualquer nação. Nesse trabalho é estudado a viabilidade técnica de implantação de componentes de *Smart Grid* em consumidores finais, partindo da tecnologia disponível no Brasil. Realizou-se testes com medidores inteligentes das tecnologias ZigBee e PLC, com o objetivo de analisar e comparar o desempenho dos mesmos. Para avaliar a performance da solução oferecida pelos dispositivos, foi utilizada uma bancada de testes que simula os circuitos elétricos encontrados nas residências brasileiras. Analisaram-se o desempenho dos parâmetros de conectividade, acionamento remoto, comunicação e medição em ambas as tecnologias. Os resultados obtidos foram compilados, discutidos e comparados. Espera-se que este trabalho contribua para o gradual processo de familiarização do sistema elétrico nacional com os conceitos de smart grid, facilitando a compreensão da natureza das tecnologias abordadas bem como suas aplicações.

Palavras-chave: Redes elétricas. Smart Grid. Smart Meter. PLC. ZigBee

## ABSTRACT

MIKOS, Andrew Philip; SCHIOCHET, Bruno; COSTA, Germano Alves. **Technical feasibility study of the implementation of Smart Grid technologies for end consumers.**2014. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

The concept of Smart Grid is the infrastructure that integrates equipment and data communication networks to the electricity supply system. What is sought with the smart grid is nothing more than taking the technological innovations for the energy sector, which is a segment of fundamental importance for any nation. In this study the technical feasibility of implementing Smart Grid components for final consumers is studied, based on the technology available in Brazil. We conducted tests of smart meters with ZigBee and PLC technologies, aiming to analyze and compare their performance. To evaluate the performance of the solution offered by the devices, a test bench that simulates the electrical circuits found in Brazilian households was used. We analyzed the parameters of connectivity, remote start, communication and measurement in both technologies. The results were compiled, compared discussed. It is hoped that this work will contribute to the gradual process of familiarizing the national electric system with smart grid concepts, facilitating the understanding of the nature of the studied and its applications.

Keywords: Power Grids. Smart Grid.Smart Meter.PLC. ZigBee

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rede Tradicional e Rede Elétrica Inteligente .....	18
Figura 2: Ilustração sistema comunicação em Smart Grid .....	23
Figura 3: Configuração PLC.....	24
Figura 4: Modulação.....	25
Figura 5: Comparação de redes “wireless” .....	26
Figura 6: Pilha ZigBee. ....	27
Figura 7: Topologia Z-Wave .....	31
Figura 8: Diagrama Elétrico .....	34
Figura 9: Quadro de Distribuição de Força e Luz (QDFL) .....	34
Figura 10: Detalhe dos disjuntores .....	35
Figura 11: Bancada de testes .....	35
Figura 12: Tela de configuração ZigBee .....	37
Figura 13: Tela de comandos.....	38
Figura 14: SG 3010 T2 .....	40
Figura 15: SG 3010 T4 .....	40
Figura 16: Instalação Smart Meter ZigBee .....	41
Figura 17: Função Allow Join.....	41
Figura 18: Função remove.....	42
Figura 19: Função All On.....	43
Figura 20: Exemplo de cenário .....	43
Figura 21: Topologia sem repetidor de sinal.....	45
Figura 22: Topologia com repetidor de sinal inserido .....	45
Figura 23: Detalhe da instalação / PLC .....	47
Figura 24: Circuito / Teste comunicação .....	49
Figura 25: Comparação dos cenários .....	51



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Comparativo das tecnologias Smart Grids existentes.....	32
Quadro 2: Testes realizados nos <i>smart meters</i> .....	36
Quadro 3: Localização / Aplicação ZigBee .....	44
Quadro 4 : Comparativo de Resultados .....	56

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Valores medidos / ZigBee .....	46
Tabela 2: Valores medidos / PLC .....	50
Tabela 3: Erro (%) ZigBee .....	52
Tabela 4: Erro (%) PLC .....	55

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Taxa de transferência de dados PLC – cenário 1 .....	54
Gráfico 2: Taxa de transferência de dados PLC – cenário 2.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abesco - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia Elétrica

Abradee - Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

ARRA - American Recovery and Reinvestment Act

ASK - Amplitude Shift Keying

CEO - Chief Executive Officer

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

COPEL- Companhia Paranaense de Energia

ECOee - Expertise, Consultoria e Ordenamento em Energia Eficiente

EMS – Energy Management System

EPE- Empresa de Pesquisa Energética

ERB – Estação Rádio Base

FFD - Full Function Device

FSK - Frequency Shift Keying

GTS -Guaranteed Time Slot

HVAC -Heating, Ventilation, and Air Conditioning

IEA – International Energy Agency

IEE- Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP – Internet Protocol

ISGAN – International Smart Grid Action Network

ISM -Instrumentation, Scientific and Medical

LQI - Link Quality Indicator

MAC – Media Access Control

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação

NIST- National Institute of Standards and Technologies

PIB – Produto Interno Bruto

PHY-Physical Layer

PLC - Power Line Communication

PSK - Phase Shift Keying

RFD - Reduction Function Device

RPC - Ripple Control

TI - Tecnologia da Informação

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 Tema .....	12
1.1.1 Delimitação do Tema .....	13
1.2 Problemas e Premissas .....	13
1.3 Objetivo Geral .....	14
1.3.1 Objetivos Específicos .....	15
1.4 Justificativa .....	15
1.5 Procedimentos Metodológicos .....	15
1.6 Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1 Rede Convencional de Energia Elétrica .....	17
2.2 Rede Inteligente de Energia Elétrica – <i>Smart Grid</i> .....	18
2.2.1 Definição .....	18
2.2.2 Visão Geral – <i>Smart Grid no Mundo</i> .....	19
2.2.3 Visão Geral – <i>Smart Grid no Brasil</i> .....	21
2.3 Tecnologias para comunicação em Smart Grid .....	22
2.3.1 PLC – <i>Power Line Communication</i> .....	23
2.3.1.1 Princípio de funcionamento .....	25
2.3.2 Comunicação wireless em <i>Smart Grid</i> .....	26
2.3.2.1 ZigBee .....	27
2.3.3 Z- Wave .....	29
2.3.5 Comparativo das tecnologias <i>Smart Grids existentes</i> .....	31
<b>3. EXPERIMENTOS E TESTES</b> .....	33
3.1 GATEWAY SG6200NXL .....	36
3.2 TESTES REALIZADOS NOS SMART METERS ZIGBEE SG3010 .....	38
3.2.1 Características <i>dos Smart Meters ZigBee SG3010</i> .....	38
3.2.2 Teste de conectividade - ZigBee .....	39
3.2.3 Teste de comando – On/Off remote - ZigBee .....	42

3.2.4 Teste de comunicação - ZigBee .....	43
3.2.5 - Teste de medição - ZigBee.....	46
3.3 TESTES REALIZADOS NOS <i>SMART METERS</i> PLC SG2097 .....	46
3.3.1 Características dos Smart Meters PLC SG2097 .....	46
3.3.2 Teste de conectividade - PLC .....	47
3.3.3 Teste de comandos On/Off - PLC .....	48
3.3.4 Teste de comunicação - PLC .....	48
3.3.5 Teste de medição –PLC .....	49
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
4.1 ANÁLISES DOS RESULTADOS - SMART METERS ZIGBEE .....	50
4.1.1 Resultados - teste de conectividade ZigBee.....	50
4.1.2 Resultados - teste de Função On/Off remote ZigBee .....	51
4.1.3 Resultados - teste comunicação ZigBee .....	51
4.1.4 Resultados - teste de medição ZigBee.....	52
4.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS - SMART METERS PLC.....	53
4.2.1 Resultados - teste de conectividade PLC.....	53
4.2.2 Resultados - teste de Função On/Off remote PLC .....	53
4.2.3 Resultados - teste de comunicação PLC.....	53
4.2.4 Resultados - teste de medição PLC .....	55
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Tema

No Brasil, a demanda por energia elétrica tem crescido ano após ano, acompanhando o crescimento da população, bem como devido ao crescimento econômico, expansão do parque industrial brasileiro, maior acesso da população aos eletrônicos devido ao aumento de renda e facilidades de crédito. Estimativas do Fundo Monetário Internacional prevê crescimento de 2,5% do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 2013, ao passo que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima um crescimento de consumo de energia elétrica de 4,3% para 2013.

Aliado ao crescimento da demanda tem-se ainda uma relevante porcentagem da energia elétrica que é perdida nos sistemas de transmissão e distribuição, sendo que na distribuição tem-se a maior quantidade de perdas. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2013), as perdas na rede de distribuição elétrica são responsáveis por aproximadamente 15% da energia comprada pelas distribuidoras. O elevado índice de perdas aumenta o custo da energia elétrica para o consumidor final e ainda afeta a confiabilidade do sistema.

Face aos problemas ambientais e escassez de recursos naturais que o planeta terra vem enfrentando e devido à necessidade crescente por mais energia para suprir as necessidades humanas é necessário que os sistemas elétricos sejam energeticamente eficientes. "Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais." (Ministério do Meio Ambiente, 2013).

É corrente o entendimento de que a implantação de *Smart Grid* promove melhorias na utilização final da energia, com medidas de eficiência energética, reduzindo a necessidade de novos projetos de geração e transmissão, bem como a integração de projetos de energia renovável na rede.

### **1.1.1 Delimitação do Tema**

O conceito de rede inteligente (*Smart Grid*, em inglês) constitui a infraestrutura que integra equipamentos e redes de comunicação de dados ao sistema de fornecimento de energia elétrica (ANEEL, 2013). O que se busca com as redes inteligentes nada mais é do que levar as inovações tecnológicas para o setor elétrico, que é um segmento de fundamental importância para qualquer nação.

Com a instalação de uma rede de sensoriamento junto a um sistema confiável de comunicação em duas vias, a rede pode atuar sobre as informações percebidas, como por exemplo, monitorar e regular o desempenho da rede, reunir informações sobre os padrões de comportamento de consumidores e geradores, melhorando, de maneira automatizada, a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade do fornecimento de energia elétrica.

Nesse trabalho é estudado a viabilidade técnica de implantação de componentes de *Smart Grid* em consumidor final, partindo da tecnologia disponível no Brasil e respeitando as limitações para instalação de tais componentes, da legislação vigente da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e ANEEL.

## **1.2 Problemas e Premissas**

A crescente demanda por energia elétrica no Brasil, estimulada pelo crescimento econômico, comercial e industrial do país, traz a tona questionamentos à respeito de como será suprida essa demanda.

Segundo a EPE, as novas estimativas, que contemplam o período até 2021, o crescimento médio anual da demanda total de eletricidade (que inclui consumidores cativos, consumidores livres e autoprodutores) será de 4,5% ao ano no período.

De acordo com uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia Elétrica (Abesco), aproximadamente 10% dos 430 terawatt-hora (TWh) consumidos no país a cada ano são desperdiçados, volume superior ao consumido pelo total da população do estado do Rio de Janeiro.

Um dos maiores vilões desse desperdício é a baixa eficiência energética em processos industriais obsoletos. Como por exemplo, sistemas de refrigeração, aquecimento e iluminação inadequados e também a falta de sistemas de automação que permitam o monitoramento da carga.

Além dos investimentos em infraestrutura, a instalação das redes inteligentes requer a revisão da lei atual. Por exemplo, seria necessário permitir que o preço do quilowatt-hora para o consumidor residencial varie ao longo do dia, de acordo com a demanda e com a oferta de energia. Em virtude disso faz-se necessária uma mudança de relacionamento entre o consumidor e a concessionária, visando a um gasto eficiente e a prestação de um serviço de qualidade. Hoje, utiliza-se a energia com pouco controle e conhecimento do perfil do uso. O consumidor tem uma única informação de seu consumo quando recebe a fatura da energia, não possui incentivo para o uso eficiente da mesma.

Pretende-se, ao final, ter contribuído para melhor se compreender questões associadas à utilização das tecnologias de *Smart Grid* para aumentar a eficiência energética nas instalações dos consumidores. A aplicação destas tecnologias é viável? Caso não, quais as dificuldades impedem o seu uso no cenário atual? Caso sim, quais tecnologias são as mais relevantes, e como elas contribuem para o aumento da eficiência energética da instalação do consumidor e como elas interagem com o sistema?

### **1.3 Objetivo Geral**

-Realizar um estudo de caso de viabilidade técnica da implementação de tecnologias de rede inteligente nas instalações elétricas de consumidores residenciais.



### 1.3.1 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre *Smart Grid*;
- Levantar tecnologias existentes de *Smart Grid* que estão sendo aplicadas em consumidores residenciais e comerciais.
- Realizar ensaios comparativos entre as tecnologias *Smart Grid*;
- Analisar e discutir os resultados dos ensaios realizados;

### 1.4 Justificativa

Cyro Boccuzzi (2010), fundador e CEO (*Chief Executive Officer*) da ECOee (*Expertise, Consultoria e Ordenamento em Energia Eficiente*), empresa focada em gestão e tecnologia de energia e presidente do Fórum Latino Americano de *Smart Grid*, afirma que “seguramente *Smart Grid* é o futuro da distribuição de energia elétrica no país, pois reúne os avanços tecnológicos nas áreas de tecnologia de informação ao mundo da energia, em favor das melhores práticas em termos econômicos e ambientais. Principalmente por possibilitar um aproveitamento mais adequado da infraestrutura existente e estimula o aumento da eficiência energética em todas as áreas de consumo.”

Desta forma, é relevante o estudo da aplicação destas tecnologias e como elas podem melhorar a eficiência do consumo de energia elétrica tanto no âmbito residencial quanto no industrial.

### 1.5 Procedimentos Metodológicos

Para atingir o objetivo proposto, foi realizada uma análise das tecnologias de *Smart Grid* e suas aplicações na área de eficiência energética aplicando os seguintes procedimentos:

- 1- Revisão da bibliografia existente em livros, dissertações, teses, artigos científicos e sites especializados. Contato com empresas e profissionais confiáveis da área afim de reunir informações técnicas.
- 2- Definiu-se a maneira e o local em que será feito o estudo. De modo que seja viável a realização de medições, monitoramento e coleta de dados, proporcionando a análise das tecnologias Smart Grid.
- 3- Os dados dos testes foram compilados e analisados. A partir destes, elaborou-se uma tabela comparativa entre as tecnologias estudadas.

## **1.6 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é composto por cinco capítulos, que apresenta de forma geral o uso de redes inteligentes (*Smart Grid*) na busca da eficiência energética.

O primeiro capítulo é uma introdução geral sobre a abordagem da proposta, expondo o caso proposto, os objetivos de melhoria e a justificativa. Também explica o método de pesquisa elaborado para o desenvolvimento desse projeto.

O segundo capítulo aborda os referenciais teóricos sobre redes inteligentes de energia e eficiência energética.

O terceiro capítulo descreve os testes realizados nos dispositivos ZigBee e PLC.

O quarto capítulo apresenta uma análise e discussão dos resultados.

O quinto capítulo apresenta as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Rede Convencional de Energia Elétrica

A forma como a distribuição de energia é feita na rede atual é arcaica, depende de uma única fonte geradora e, caso ela falhe, toda rede fica sem abastecimento. (Camargo, 2009)

Além disso, a maior parte da medição do consumo é realizada por medidores eletromecânicos, em que a leitura é realizada por um operador, ou seja, um leiturista. Todo esse processo de obtenção de dados dos medidores dos clientes é feito de maneira manual, o que cria grande probabilidade de erros e imprecisões, o que nem sempre é justo com o consumidor final.

Neste mesmo contexto (AGGARWAL et al., 2010) nos apresenta essa questão das redes convencionais de energia, em que há um caminho no sentido da geração até chegar os consumidores finais e que esse sistema é insuficiente, nos casos onde o consumidor final também pode ser um ponto de geração. Ressalta também o aspecto de que a rede atual não é equipada com facilidades que o sistema *Smart Grid* oferece para tratar com as questões relacionadas com o baixo tempo de resposta dos acionamentos mecânicos, congestionamentos no tráfego de energia em longa distância, e uma carência na análise automatizada de falhas.

No sistema convencional o fluxo de energia (da geradora de energia até o consumidor final) ocorre em sentido único, o consumo é medido e o medidor é um agente passivo, não há nenhuma iteração com troca de informações entre ele e o sistema ao qual ele faz parte.

Visando um cenário em que o consumidor final tenha uma maior iteração e atuação com a rede de energia é primordial que o sistema atual migre para um sistema que utilize a tecnologia *Smart Grid*. Como se pode notar na figura 1 há uma mudança fundamental no modo de operação e na configuração da rede: de centralizado para recursos distribuídos, de uma rede passiva para uma rede ativa, de um pré-determinado fluxo de potência para um fluxo de potência dinâmico e com direções imprevisíveis.

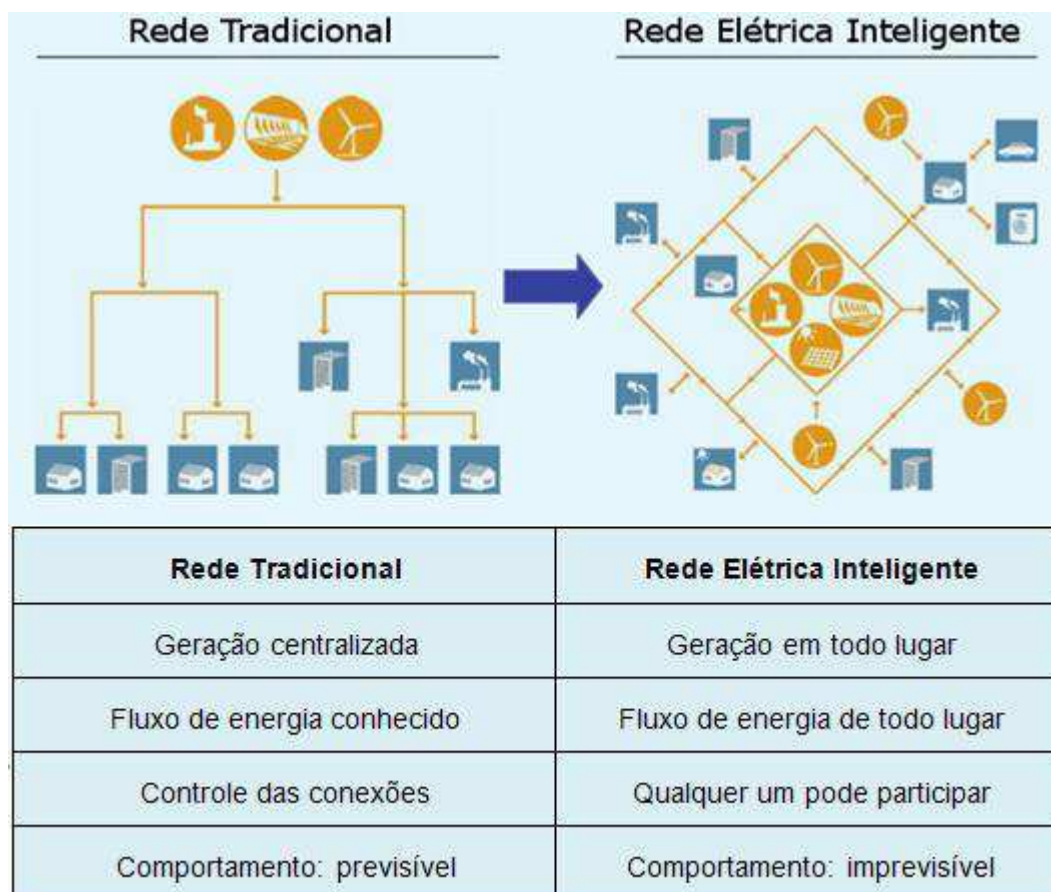


Figura 1: Rede Tradicional e Rede Elétrica Inteligente

FONTE: Adaptado de SANTACANA (2010)

## 2.2 Rede Inteligente de Energia Elétrica – *Smart Grid*

### 2.2.1 Definição

De acordo com o que foi definido no item 1.1, a rede elétrica *Smart Grid* é caracterizada pelo uso de tecnologias digitais, de telecomunicações, de tecnologias de informação (TI), e de sensoriamento e operação remota de instalações. Levando em conta esses aspectos, podemos então perceber claramente as diferenças e os benefícios da rede inteligente em relação à rede convencional, pois a primeira promove:

"O significativo aumento da quantidade e da qualidade das informações relativas ao desempenho da rede; a disponibilidade dessas informações na própria rede (trafegam fisicamente na própria rede); e a possibilidade de atuação dos consumidores finais para, com base nessas informações, influírem no desempenho da rede, otimizando-o. Essa otimização do desempenho da rede de energia elétrica reflete-se em menores custos para a energia fornecida e, conseqüentemente, em menores tarifas para os consumidores." (BANDEIRA, 2012)

O termo *Smart Grid* é composto de três subáreas que interagem entre si. A primeira está associada à parte do sistema que está acima do medidor de energia elétrica, ou seja, abrange o sistema de geração, transmissão e distribuição e é responsável pela otimização e automação das ações de proteção e operação do sistema, além de poder disponibilizar informações relacionadas ao desempenho do sistema para a concessionária e também aos consumidores.

A segunda subárea é o próprio medidor de energia. Em um *Smart Grid*, trabalha-se, geralmente, com medidores inteligentes de energia, e é este o responsável pela interface da rede com o consumidor.

A terceira subárea não seria composta exatamente por uma "rede inteligente", mas sim por "consumidores inteligentes", ou seja, indústrias e casas inteligentes que seriam equipadas com máquinas e eletrodomésticos inteligentes, bem como sistemas integrados de co-geração que podem ser, por exemplo, de fonte eólica, solar ou biomassa, entre outras fontes no caso das indústrias. Estes sistemas se utilizariam das informações disponíveis da rede e programados para ligar ou desligar de acordo com estes parâmetros, podendo reduzir o consumo ou até mesmo injetar carga na rede elétrica, agindo de acordo com o desempenho da rede e dos estímulos tarifários provenientes da mesma.

### **2.2.2 Visão Geral – *Smart Grid* no Mundo**

A implantação de *Smart Grids* é uma tarefa complexa e ainda encontra-se em estágio experimental em vários países do mundo. O desenvolvimento das redes inteligentes só é possível com a convergência de vários tipos diferentes de

tecnologias de diferentes setores, desde as tecnologias tradicionais do setor elétrico, tecnologias da informação e telecomunicações, tecnologias de sensoriamento e monitoramento de equipamentos até tecnologias relativas à segurança dos dados irão trafegar pela rede, exigindo então o desenvolvimento de práticas operacionais que possibilitem a integração dessas tecnologias, tornando possível a operação em conjunto de todas elas.

Como vários dos desafios relacionados à implantação de *Smart Grids* são comuns à todos os países, foi criado em julho de 2010 em Washington, um grupo de trabalho internacional (*International Smart Grid Action Network - ISGAN*) com o objetivo de estabelecer mecanismos de colaboração e troca de experiências entre os países no desenvolvimento de redes de energia elétrica inteligentes, no âmbito da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*). Os países que atualmente participam do ISGAN são: Austrália, Alemanha, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Espanha, EUA, Finlândia, França, Holanda, Índia, Inglaterra, Irlanda, Itália, México, Noruega, Rússia, Suécia e Suíça. Foram convidados a integrar o ISGAN: África do Sul, Brasil, China, Dinamarca, Japão, e Turquia.

Todos os países integrantes do ISGAN possuem projetos pilotos de implantação de redes inteligentes de energia elétrica, espera-se que os países integrantes promovam a troca de conhecimentos no desenvolvimento de ferramentas, e divulguem entre si as práticas mais eficientes adotadas na coordenação de projetos voltados à implantação de *Smart Grids*.

Assim como as características dos sistemas de fornecimento de energia elétrica diferem de um país para outro, as motivações dos países para implantação de redes inteligentes são diferentes, assim como os procedimentos de implantação, os prazos e prioridades definidas. Apesar de existirem vários motivadores em comum para a implementação de *Smart Grid* em todos os países (fatores econômicos e ambientais podem ser citados), existem outros fatores culturais específicos à cada país que devem ser levados em conta quando analisamos o progresso no setor de energia elétrica em cada região.

O ARRA 2009 (*American Recovery and Reinvestment Act*) foi à iniciativa do governo dos Estados Unidos que impulsionou os investimentos financeiros para a implantação de *Smart Grids* no país. O fator econômico não é o único motivador dos investimentos em *Smart Grids* nos EUA, existe também uma grande preocupação

com o aumento de segurança no âmbito do setor elétrico, a diminuição de vulnerabilidades à ataques terroristas, ataques hacker e também falhas ocasionadas por desastres naturais.

Na Europa ocidental um dos principais motivadores é o fator ambiental, porém existe uma ênfase na geração distribuída, esta torna possível que fontes renováveis de energia elétrica sejam integradas em larga escala ao sistema.

### **2.2.3 Visão Geral – *Smart Grid no Brasil***

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, os principais motivadores para a implantação de *Smart Grids* são a redução de perdas comerciais advindas do furto de energia e de fraudes em medidores. (BANDEIRA, 2012)

Existem no país iniciativas governamentais e privadas que visam o desenvolvimento de tecnologias, alterações na regulação do setor elétrico nacional com vistas à implantação de redes inteligentes de energia elétrica, várias distribuidoras de energia elétrica nacionais também estão conduzindo projetos pilotos na área.

A ANEEL está desenvolvendo diversas atividades de incentivo à implantação de *Smart Grids* no País, como consultas e audiências públicas, e edição de resoluções relacionadas à implantação de medidores eletrônicos inteligentes em consumidores residenciais (Audiência Pública ANEEL nº 43/2010); coordenação de incentivos a geração distribuída de pequeno porte conectadas à rede de distribuição (Resolução Normativa ANEEL nº 4823, de 17 de abril de 2012); alterações no sistema tarifário levando em conta a variação horária e sazonal da tarifa para consumidores residenciais (Resolução Normativa ANEEL nº 4644, de 22 de novembro de 2011).

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), vinculado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), está realizando um estudo que tem como objetivo avaliar os desafios, oportunidades e impactos econômicos, industriais, tecnológicos e sociais das redes inteligentes de energia elétrica na economia brasileira. Esse estudo também visa obter subsídios para a elaboração de políticas

públicas relativas aos diversos órgãos governamentais setoriais envolvidos nestas questões.

A Abradee (Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica), numa estimativa preliminar, estima que as distribuidoras de energia elétrica nacionais devem investir em torno de vinte bilhões de reais para adequar suas redes e realizar a troca dos medidores de consumo de energia elétrica dos quase cinquenta e oito milhões de clientes residenciais no País.

### **2.3 Tecnologias para comunicação em Smart Grid**

A Primeira técnica que possibilitou a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para transmissão de alguns sinais de controle foi desenvolvida em 1930. Conhecido como RPC (*Ripple Control*), caracterizava-se pela utilização de baixas frequências (100 a 900 Hz), possibilitando comunicação a taxas bem baixas e potência elevada para a transmissão. O sistema possibilitava comunicação unidirecional, sendo utilizadas tarefas simples como o acionamento da iluminação pública e o controle de carga. Até a década de 80, novos sistemas com taxas ainda modestas foram desenvolvidos. (FERREIRA, 2007)

A transmissão de dados através das redes de energia elétrica desperta muito interesse, principalmente por ser possível aproveitar a infraestrutura das redes elétricas existentes, as quais cobrem grandes áreas, barateando os custos de implementação dessa tecnologia de transmissão de dados.

Muitas são as possibilidades de tecnologias para comunicação, inúmeros protocolos de comunicação surgiram com a finalidade de suprir as necessidades de redes de comunicação para *Smart Grid*. Segundo Bolzani (2004), protocolo é um conjunto de comunicação. No contexto de telecomunicações, protocolo é um conjunto formal de convenções que regulam o formato e o sincronismo da troca de mensagens entre dois sistemas de comunicação.



Não é objetivo do presente trabalho abordar todas as tecnologias disponíveis. Por tanto foram escolhidas algumas que já são usadas em redes de energia elétrica existentes e algumas potenciais a serem utilizadas em redes de energia elétrica inteligentes (*Smart Grids*).

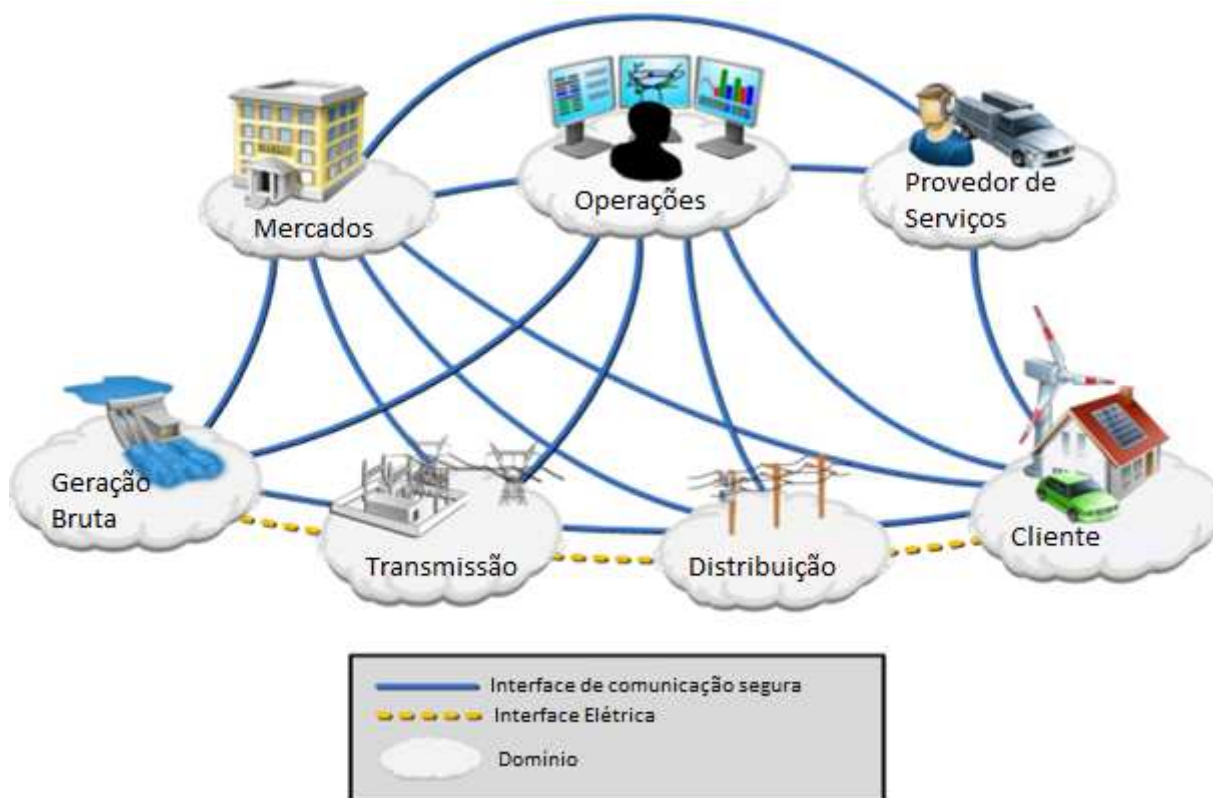


Figura 2: Ilustração sistema comunicação em Smart Grid

Fonte: Adaptado de *National Institute of Standards and Technologies– NIST* (2013)

### 2.3.1 PLC – *Power Line Communication*

“O “PLC” se constitui na tecnologia que, integrada a outras tecnologias de telecomunicações tem conduzido ao desenvolvimento da rede de distribuição de energia elétrica, ou “*Smart Grid*” (PASCALICCHIO, 2011).

Algumas aplicações do PLC possíveis em *Smart Grid* são: medição remota, comunicação entre equipamentos da rede de distribuição, complementação do sistema de comunicação em sistemas de gerenciamento de energia em residências

e automação residencial onde essa tecnologia pode prover um meio de comunicação entre vários equipamentos e eletrodomésticos.

Na figura 3, está exemplificada uma possível configuração empregando a tecnologia PLC.



Figura 3: Configuração PLC

Fonte: Vargas (2004)

A topologia de Rede, nesse caso, segue a mesma da rede elétrica. Onde houver uma tomada, pode se ter um ponto de acesso, sendo necessário à instalação de um modem PLC para que seja feito a separação do sinal de dados do sinal de energia elétrica.

### 2.3.1.1 Princípio de funcionamento

O Sinal a ser transmitido passa por uma etapa de modulação antes de ser injetado na rede de energia. O sinal de dados no sistema PLC usa tipicamente a faixa de 9KHZ a 500MHZ, variando de acordo com a finalidade. Ou seja, o sinal a ser transmitido é modulado sobre a onda senoidal de energia elétrica, que no Brasil tem frequência de 60 Hertz.

Modulação é um processo de modificação do sinal da portadora pelo sinal da informação que se deseja transmitir. A portadora possui uma frequência mais alta que o sinal da informação e propicia a transmissão no meio a ser utilizado. (AIROLDI, 2011)

Algumas das modulações mais utilizadas em PLC são *Amplitude Shift Keying (ASK)*, *Frequency Shift Keying (FSK)*, *Phase Shift Keying (PSK)*. Na figura 4 está demonstrada a modulação do sinal de dados sobre o sinal senoidal da rede de energia elétrica.

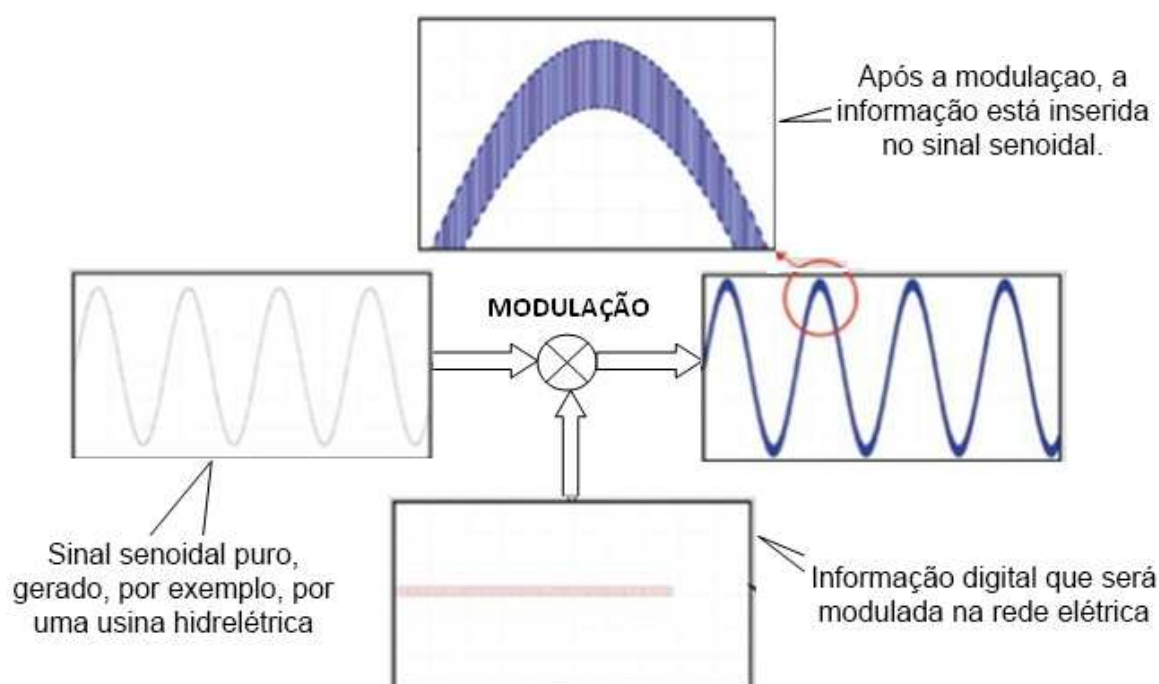


Figura 4: Modulação

Fonte: Adaptado de CUNHA (2009)

### 2.3.2 Comunicação wireless em *Smart Grid*

A Tecnologia *wireless* descreve os sistemas de telecomunicações em que as ondas eletromagnéticas carregam o sinal sobre parte ou todo o trajeto de comunicação sem a utilização de cabos.

Reduzindo assim o tempo de instalação e custos. Dentre as desvantagens estão, possibilidade de interferência com outros sistemas que também utilizam ondas de rádio e a necessidade de técnicas de criptografia para garantir o sigilo dos dados transmitidos.

A figura 5 apresenta um panorama da situação das redes de comunicação sem fio.

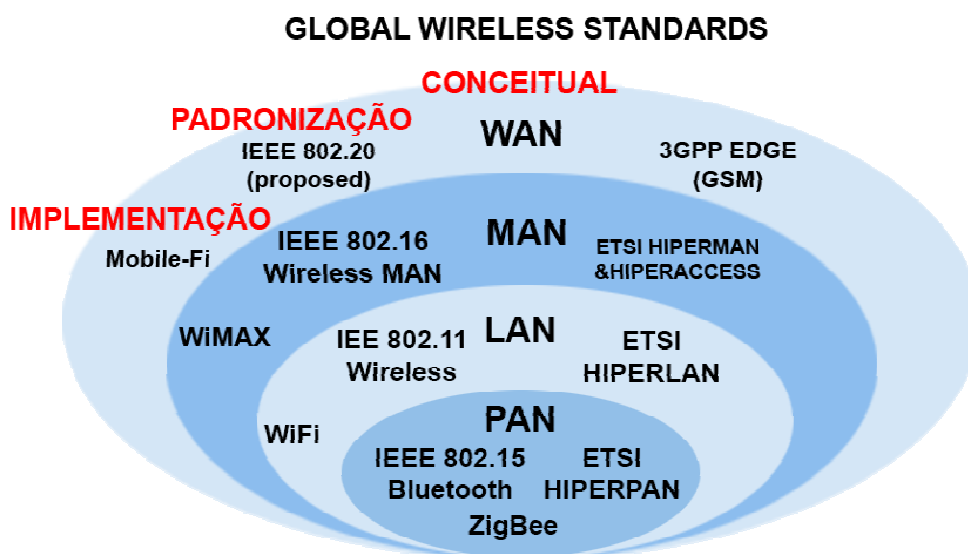


Figura 5: Comparação de redes “wireless”

Fonte: BRANQUINHO (2005)

### 2.3.2.1 ZigBee

O padrão ZigBee define um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem fio de curto alcance e baixa taxa de tráfego de dados. As redes do tipo ZigBee começaram a ser projetadas em meados de 1998 quando muitas aplicações que outrora eram desenvolvidas sob a ótica Wi-Fi e Bluetooth começaram a se tornar inviáveis por questões como gerenciamento de energia, ineficiência de banda alocada, complexidade de protocolos, etc. (EVANGELISTA, 2010).

A ZigBee Alliance, criada em 2002, a partir da união de empresas interessadas em desenvolver e promover o padrão ZigBee é a responsável pelas camadas superiores da pilha ZigBee, da camada de rede à camada de aplicação. O padrão IEEE 802.15.4 é o responsável pelas definições e especificações das camadas físicas (PHY) e camada do controle de acesso de mídia (MAC). A pilha de aplicações ZigBee é demonstrada na figura 6.

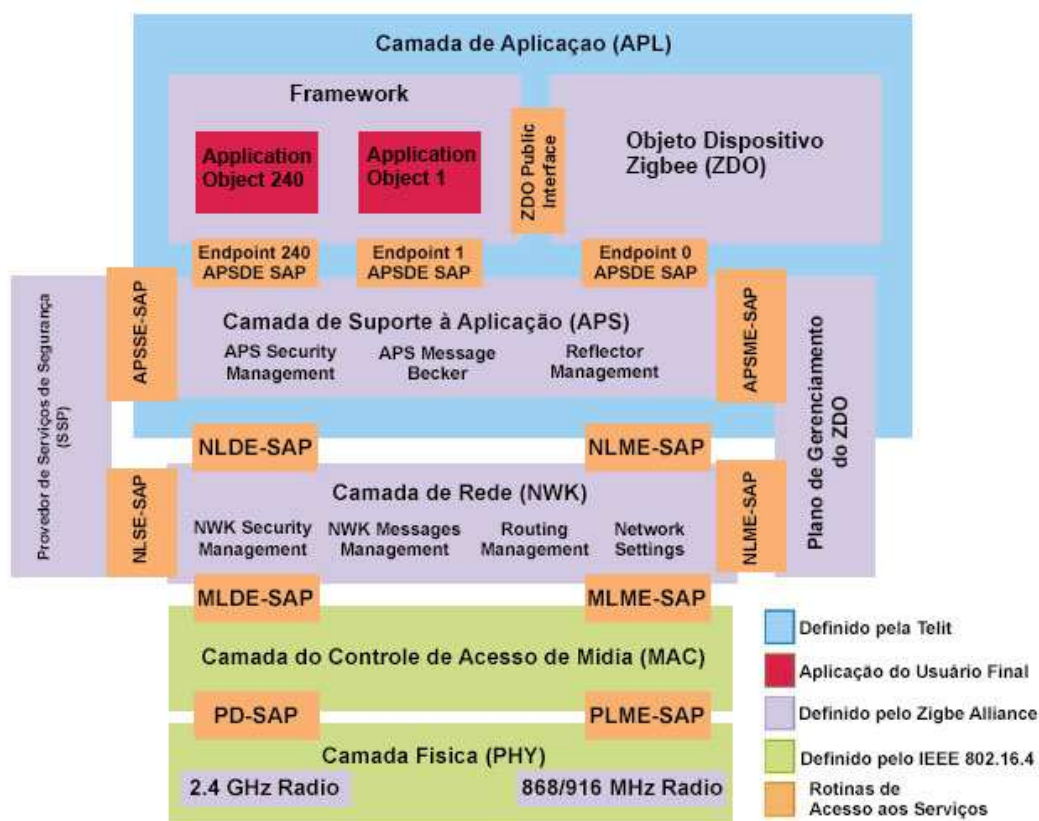


Figura 6: Pilha ZigBee  
Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2008)

Entre as principais características da interface ZigBee definidas pelo IEEE 802.15.4 são:

- Gerência de energia para assegurar o baixo consumo;
- Taxas de 250 kbit/s (2.4 GHz), 40 kbit/s (915 MHz) e 20 kbit/s (868MHz);
- Restabelecimento automático da rede pelo elemento coordenador
- Alcance típico de 50 m;
- Operação em topologias, árvore, estrela e malha.
- *Link Quality Indicator* (LQI)
- Detecção de energia
- Alocação de intervalos de tempo garantidos (GTS)
- Endereços de 16 bits ou estendidos de 64 bits

O padrão ZigBee foi criado para automação residencial e gerenciamento de energia, nichos de mercado não atendidos pelo Wi-Fi e Bluetooth. As principais características necessárias de uma rede de comunicação de sensores sem fio são baixa latência, limitações severas no consumo de energia, baixo custo e ainda a possibilidade de implementação de redes com elevado número de dispositivos e baixa complexidade dos nós de rede. No caso do Wi-Fi, os principais limitantes para tais aplicações são consumo de energia elevado para alimentação a partir de baterias, quantidade relativamente limitada de dispositivos conectados à rede.

Segundo definido pelo padrão IEEE 802.15.4 existem dois tipos de dispositivos, os *Full Function Device* (FFD) e os *Reduction Function Device* (RFD):

FFD - podem funcionar em qualquer topologia do padrão, desempenhando a função de coordenador da rede ou roteador e conseqüentemente terem acesso a todos os outros dispositivos dentro de seu alcance de transmissão. São dispositivos mais completos.

RFD – dispositivos mais simples, com menos memória, utilizados nas pontas da rede sem atribuições de reenvio de mensagem, ou seja, não podem atuar como coordenadores de rede ou roteadores. Podem comunicar-se apenas com um FFD.

A opção pelo dispositivo mais simples, RFD, deve-se ao barateamento do valor da solução e ainda economia de energia, já que esse dispositivo consome menos energia se comparado ao FFD. Para que a rede funcione deve estar presente pelo menos um FFD, o qual terá a atribuição de coordenador da rede.

Os dispositivos ZigBee foram concebidos para atuar na faixa de frequência *Instrumentation, Scientific and Medical* (ISM), que não requer licença para uso, atuando na faixa de frequência de 2.4GHz, dividindo o espectro com outras tecnologias, como a própria Wi-Fi. A máxima taxa de transmissão de dados é de 250Kbps, que apesar de baixa quando comparada a outras tecnologias sem fio presentes na mesma faixa de frequência, se mostra bastante razoável às aplicações pretendidas.

Outra característica importante voltada as aplicações de automação residencial/industrial e gerenciamento de energia é o ótimo nível de imunidade às interferências por ruídos ou outros dispositivos RFD operando na mesma frequência, para tanto o coordenador Zigbee está programado para se necessário alterar o canal de transmissão para outro canal onde não haja interferência.

### **2.3.3 Z- Wave**

O Z-Wave é um protocolo de comunicação wireless, desenvolvido para automação residencial, mais especificamente para o controle remoto de aplicações de iluminação em ambiente residencial e comercial.

O Z-Wave é um protocolo de comunicação proprietário, ou seja, é feito para ambientes específicos, e apenas pode se comunicar com uma plataforma padrão. Tem como fundador a Zensys Inc, que em 2005 juntamente com um grupo de empresas fabricantes de produtos do setor de automação residencial fundaram a Z Wave Alliance, que tem por objetivo o fortalecimento, divulgação da marca Z Wave e ainda o desenvolvimento da tecnologia.

Z-Wave é um protocolo de comunicação sem fio otimizado para comunicação de baixa latência com pequenos pacotes de dados, com taxas de transferência de até 100kbit/s, baseado em ondas de rádio, utiliza a banda de frequência de 868/900 MHz, essa banda é a mesma de alguns tipos de telefones

sem fio e outros dispositivos eletrônicos residenciais, isso evita a interferência de dispositivos Z-Wave com conexões Wi-Fi, Bluetooth e outros sistemas que operam na faixa dos 2,4GHz. Foi desenvolvido especialmente para aplicações em controle e monitoração residencial, tais como controle remoto, leitura de medidores, refrigeração Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) e sistemas de alarme e incêndio. O protocolo é constituído de dois dispositivos, os “Controladores” que são responsáveis por iniciar a comunicação através do envio de comando para outros dispositivos conectados à rede. Os dispositivos “Controladores” têm a tabela de roteamento completa da rede Z-Wave e são capazes de se comunicarem com todos os dispositivos da rede. Os “Escravos” não podem, independentemente, enviar mensagens diretamente para outros dispositivos, a menos que eles sejam ordenados por controladores. Ao receber uma ordem os “Escravos” devem executar a ação e após a execução devem responder ao “Coordenador” com uma mensagem se o comando foi executado.

Cada rede Z-Wave é identificada por um *Network ID* (identificação de rede), também chamado de *Home ID*, e cada dispositivo é identificado por um *Node ID* (identificação de nó). Cada dispositivo deve ser associado a um único *Network ID*, e dispositivos associados à diferentes redes não podem comunicar-se uns com os outros.



Na figura 7, está demonstrado um típico arranjo de uma rede Z-Wave, utilizando a topologia Mesh, onde os dispositivos “escravos” apenas recebem comandos dos “controladores”.



**Figura 7: Topologia Z-Wave**

Fonte: FIBARO (2014)

### **2.3.5 Comparativo das tecnologias *Smart Grids* existentes**

Como as aplicações das tecnologias de comunicação em *Smart Grid* são bem diversificadas, possuem diferentes padrões e características específicas, é necessário fazer uma análise e verificar qual tecnologia se aplica melhor à cada necessidade. Esta comparação é apresentada no quadro 1.

Quadro 1: Comparativo das tecnologias Smart Grids existentes

	<b>Características</b>	<b>Padrões</b>	<b>Aplicação em Smart Grid</b>	<b>Principais Vantagens</b>	<b>Pontos Fracos</b>	<b>Alcance</b>
<b>ZigBee</b>	Wireless; Baixo custo; Baixo consumo; Padrão Wireless para redes domésticas (WHANs) ou Redes Pessoais (PANs);	IEEE 802.15.4-2003; O padrão é mantido pela Zigbee Alliance;	Gerenciamento de energia e monitoramento através da rede doméstica; Medidores inteligentes; Iluminação inteligente; Equipamentos eletrônicos;	Baixo custo; Vida útil de bateria de até 2 anos; Seguro; Confiável; Suporta grande número de usuários;	Várias aplicações ainda estão em desenvolvimento; Desenvolvedores devem fazer parte da ZigBee Alliance;	Até 50m;
<b>Z Wave</b>	Similar ao ZigBee;	Proprietário (ZenSys);	Automação doméstica; Segurança;	Grande disponibilidade no mercado; Compatibilidade com milhares de dispositivos; Mais versátil para aplicações domésticas do que o Zigbee;	Protocolo proprietário torna o custo alto; Opera com diferentes frequências em diferentes lugares do mundo (compatibilidade com dispositivos é limitada por região);	Até 30m;
<b>PLC</b>	Sistema de carregamento de dados no condutor de transmissão de energia elétrica;	IEEE P1901 (rascunho);	Automação de Subestações; Monitoramento Remoto; Automação da Distribuição;	Faz uso da rede de transmissão já existente;	Equipamento especializado possui custo alto; Padrões em estágio de rascunho; Interferências eletromagnéticas devido a falta de blindagem nas linhas de transmissão;	Até 15km em média tensão;

Fonte: Autoria Própria (2014)

### 3. EXPERIMENTOS E TESTES

Este capítulo descreve os testes realizados nos dispositivos das soluções de comunicação e gerenciamento de dispositivos ZigBee e PLC, com o objetivo de analisar e comparar o desempenho dos mesmos. Todos os testes foram realizados na empresa Furukawa, com sede na R. Hasdrubal Bellegard, 820 - Cidade Industrial – Curitiba - PR, detentora de todos os equipamentos e instalações utilizados nos experimentos.

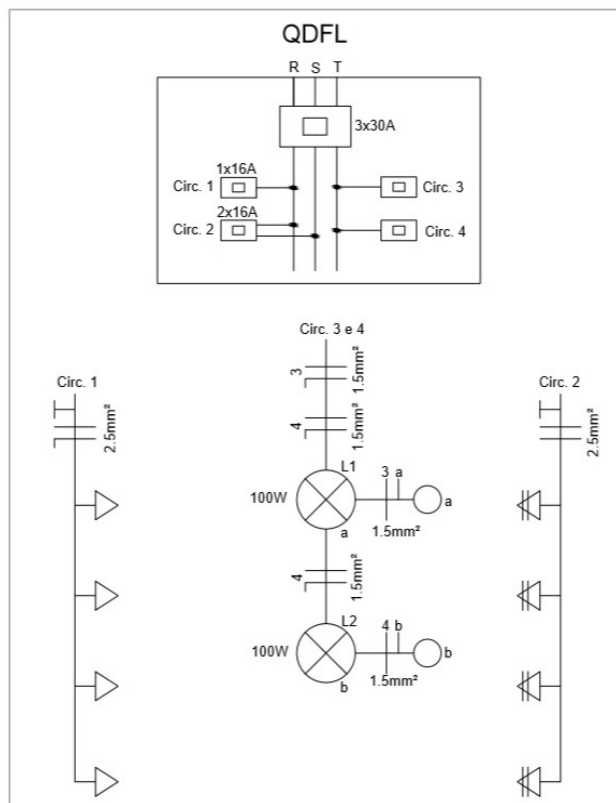
Para avaliar o desempenho da solução oferecida pelos dispositivos, realizaram-se testes individualizados de cada tecnologia, para isso foi utilizado uma bancada de testes que simula os circuitos elétricos encontrados nas residências brasileiras. Tal bancada é composta por:

- Um Quadro de Distribuição de Força e Luz (QDFL);
- Um disjuntor geral tripolar de 100A com dispositivo diferencial residual incorporado;
- Um disjuntor bipolar que atende um circuito de quatro tomadas de 220V;
- Um disjuntor bipolar que atende circuito de iluminação de duas lâmpadas 220V;
- Um disjuntor unipolar que atende um circuito de quatro tomadas de 127V;
- Um Quadro de madeira com base de ferro;
- *Smart Meters* (Medidores Inteligentes de energia) ZigBee SG 3010 T2 e SG 3010 T4;
- *Smart Meters* PLC SG2097;
- Um coordenador *Gateway* SG200NXL.

A medição foi realizada com os seguintes dispositivos:

- Multímetro EL061-098, Marca Fluke, modelo 337;
- Multímetro ET 1002, marca Minipa, CAT/600V;

O diagrama elétrico da bancada de testes está representado na figura 8:



**Figura 8: Diagrama Elétrico**

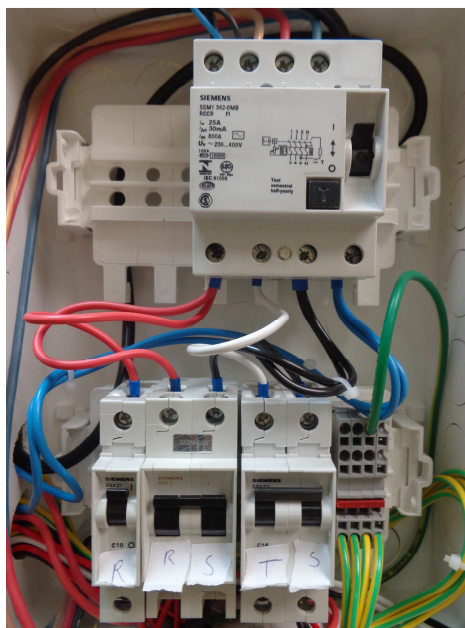
Fonte: Autoria Própria (2014)

Nas figuras 9, 10 e 11 pode-se observar o QDFL, os disjuntores e a bancada de testes em funcionamento, respectivamente.



**Figura 9: Quadro de Distribuição de Força e Luz (QDFL)**

Fonte: Autoria Própria (2014)



**Figura 10: Detalhe dos disjuntores**  
**Fonte: Autoria Própria (2014)**



**Figura 11: Bancada de testes**  
**Fonte: Autoria Própria (2014)**

Foram realizados testes com *smart meters* (medidores inteligentes) que utilizam tecnologias ZigBee e PLC, com os modelos SG3010-T2/T4 e SG2097, respectivamente. Os testes realizados estão brevemente descritos no quadro 2:

**Quadro 2: Testes realizados nos *smart meters***

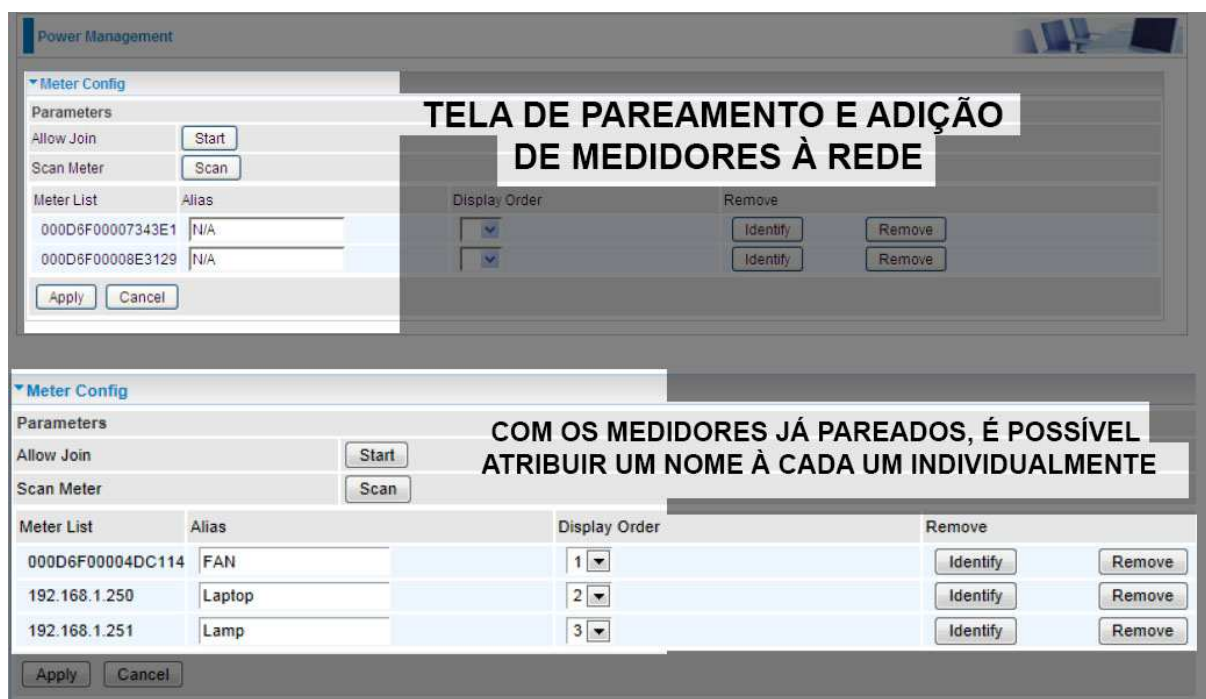
Item	Descrição
1 - Conectividade	Energização do equipamento e verificação de rotina para o estabelecimento de comunicação com o dispositivo coordenador da rede;
2-Comando – On/Off remoto	Comunicação com o equipamento através da internet e verificação do acionamento liga/desliga;
3 - Comunicação	3.1 ZigBee –Teste da estabilidade da conexão em diferentes topologias da rede e diferentes distâncias, verificando a funcionalidade de repetição do sinal na topologia Mesh; 3.2 PLC - Teste de injeção de um sinal de dados e verificação da estabilidade e velocidade da conexão com diferentes configurações do equipamento emissor e receptor do sinal;
4 - Medição	Comparar os valores medidos de tensão e corrente elétrica coletados pelos <i>smart meters</i> com as mesmas medidas realizadas com equipamentos de medição.

Fonte: Autoria Própria (2014)

### 3.1 GATEWAY SG6200NXL

Nos experimentos foi utilizado o dispositivo *Gateway SG6200NXL* que é o responsável pelo pareamento, roteamento e coordenação das informações que trafegam na rede. O modelo em questão tem múltiplas funcionalidades, podendo atuar como roteador de internet banda larga, 3G, ZigBee, controlador PLC, além de apresentar outras funções que não fazem parte do escopo deste trabalho.

O roteador é dotado de uma interface *online* intuitiva chamada de *Power Management System*, onde é possível pairar, configurar, controlar e monitorar os medidores inteligentes. Esta interface pode ser acessada através de qualquer web-browser devidamente atualizado. A figura 12 é um exemplo de uma tela de configuração de um medidor inteligente ZigBee, onde é possível adicionar, remover e nomear cada medidor independentemente para facilitar o monitoramento individual de cada dispositivo.

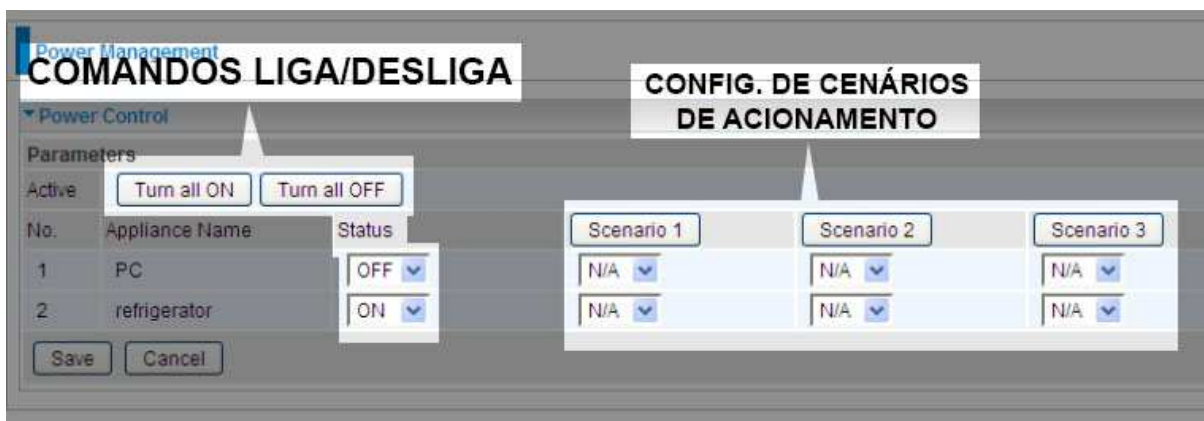


**Figura 12: Tela de configuração ZigBee**

**Fonte: Autoria própria (2014)**

Dentro do *Power Management System* também se pode acessar a tela *Power Control*, nela é possível enviar comandos liga/desliga aos *smart meters*, os comandos podem ser enviados individualmente ou simultaneamente à todos os dispositivos conectados à rede. O medidor irá, então, atuar de acordo com o comando enviado, ligando ou desligando o aparelho ao qual está conectado.

Nesta mesma tela também é possível criar cenários de acionamento. Por exemplo, pode-se programar um eletrodoméstico para desligar no horário de pico e tornar a ligá-lo fora do horário de pico, tudo de maneira automatizada e sem intervenção humana. A tela de comandos está representada na figura 13.



**Figura 13: Tela de comandos**

**Fonte: Aatoria Própria (2014)**

O monitoramento e medição de parâmetros elétricos, como consumo de energia (instantâneo ou ao longo de um período de tempo), potência ativa, potência reativa, fator de potência, corrente e tensão, são feitos numa interface similar do mesmo sistema. Esse procedimento será detalhado nos subitens referentes aos testes de medição.

## **3.2 TESTES REALIZADOS NOS SMART METERS ZIGBEE SG3010**

### **3.2.1 Características dos Smart Meters ZigBee SG3010**

Os *Smart Meters* ZigBee SG3010 são compactos e possuem várias funções de medidas elétricas e transmissão wireless. Esses dispositivos podem reunir várias informações de consumo de energia elétrica em kWh, como consumo cumulativo, consumo em intervalos pré-especificados de tempo, além de calcular o custo monetário de energia de acordo com o preço da distribuidora, além de possuir outras funções relacionadas ao tempo de uso dos equipamentos. Estes dispositivos são adequados tanto para o uso como medidores de energia independentes ou para a coleta de dados de consumo.



As funções de medição incluem:

- Potência Ativa (W)
- Consumo Total Acumulado de energia (kWh)
- Consumo de energia em Intervalos (kWh)
- Tensão (V)
- Corrente (A)
- Potência Aparente (VA)
- Fator de Potência (PF)

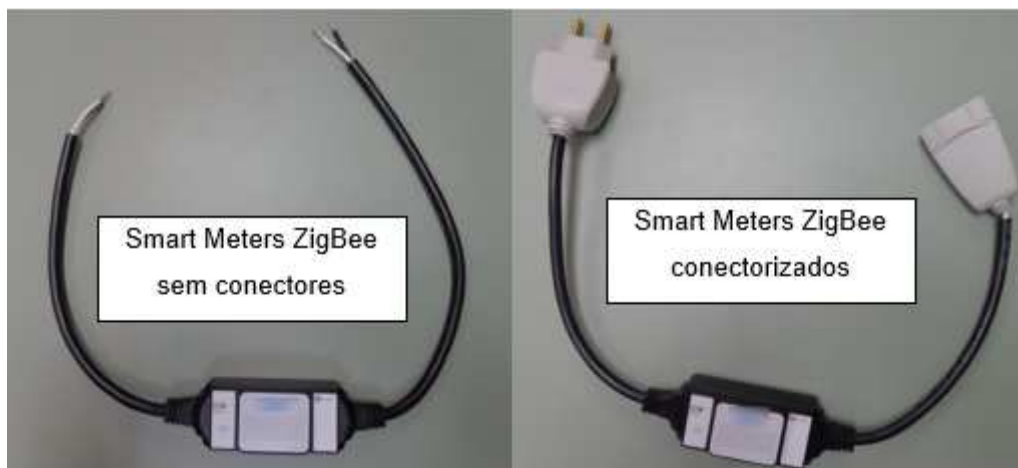
Foram utilizados medidores SG3010-T2 e um medidor SG3010-T4. Ambos possuem funções de medição e monitoramento, mas somente o SG3010-T2 conta com a função de acionamento remoto. O limite de corrente do SG3010-T2 é de 10A, enquanto o SG3010-T4 tem limite de 100A, este foi conectado ao QDFL.

O custo total da potência consumida pode ser calculado usando o *Power Management System* (Sistema de Gerenciamento de Potência), onde o usuário pode entrar com o custo do kWh da concessionária e o software automaticamente calcula o gasto total de energia de acordo com os parâmetros estabelecidos.

Os *Smart Meters* ZigBee SG3010 são capazes de realizar medições com grande resolução, trabalhando com faixas de potência a partir de 0.01W e de consumo a partir de 0.001kWh. Os medidores inteligentes SG3010 possuem precisão de  $\pm 0.5\%$  para medidas de energia (kWh) e de  $\pm 1\%$  para potência elétrica (W).

### **3.2.2 Teste de conectividade - ZigBee**

Os *Smart Meters* ZigBee SG 3010 T2 e SG 3010 T4 são comercializados sem plugues de conexão à rede elétrica, então fez-se necessária a instalação dos plugues macho e fêmea de tal forma a permitir a alimentação e controle dos equipamentos com segurança. Estas instalações estão demonstradas nas figuras 14 e 15.



**Figura 14: SG 3010 T2**

**Fonte: Aatoria Própria (2014)**



**Figura 15: SG 3010 T4**

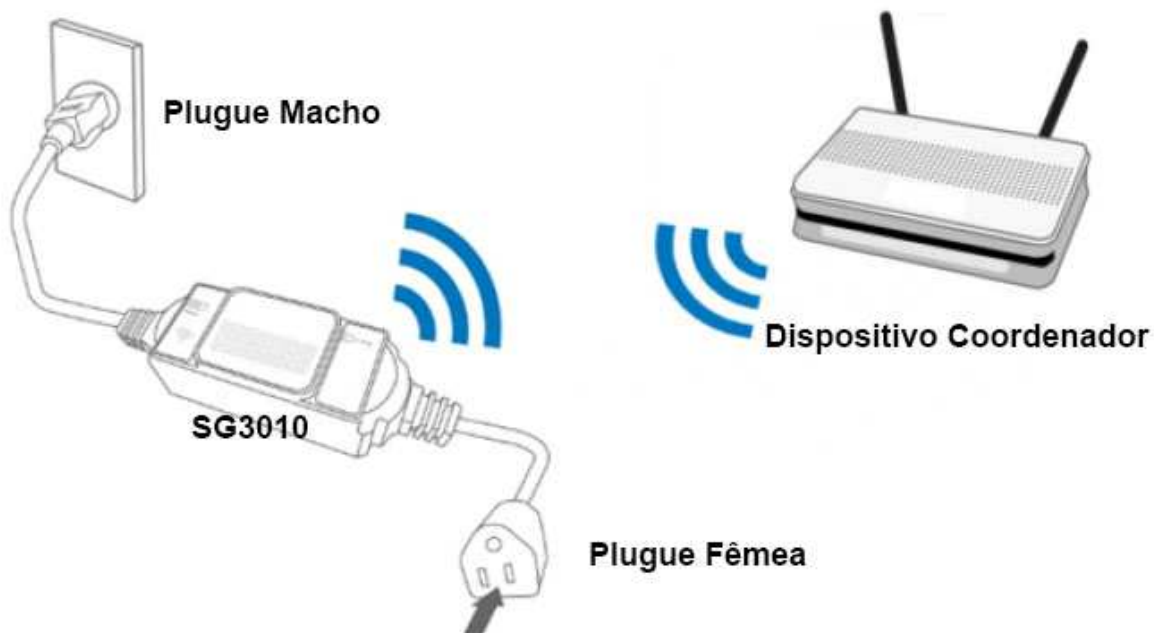
**Fonte: Aatoria Própria (2014)**

Foi realizada a inspeção visual nas terminações dos cabos de energia e no corpo do medidor com o propósito de encontrar imperfeições no isolamento e acabamento do corpo do medidor que venham à expor as partes energizadas.

Os *smart meters* ZigBee são conectados da seguinte maneira:

- Conecta-se o plugue fêmea ao plugue macho do equipamento eletrodoméstico que se deseja monitorar;
- Conecta-se o plugue macho diretamente na tomada;
- Configura-se a conexão wireless entre o medidor e o *Gateway* (coordenador) através da interface *Power Management*.

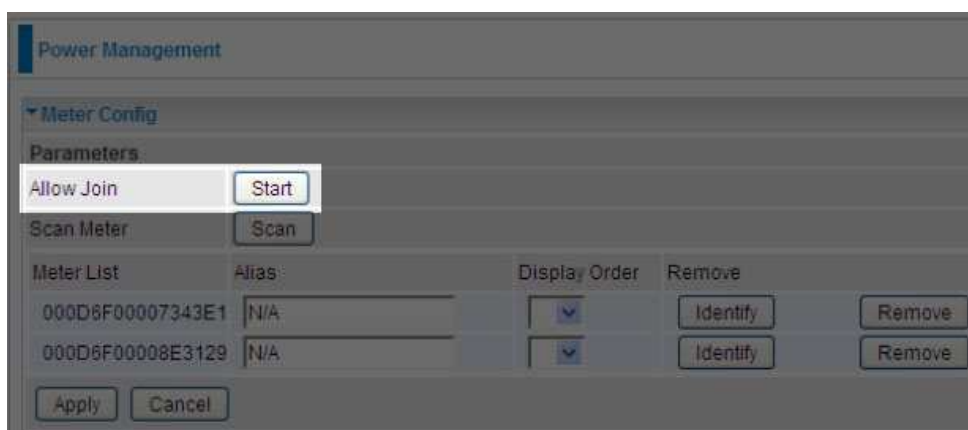
Na figura 16 está demonstrado este arranjo:



**Figura 16: Instalação Smart Meter ZigBee**

Fonte: Adaptado de BILLION (2014)

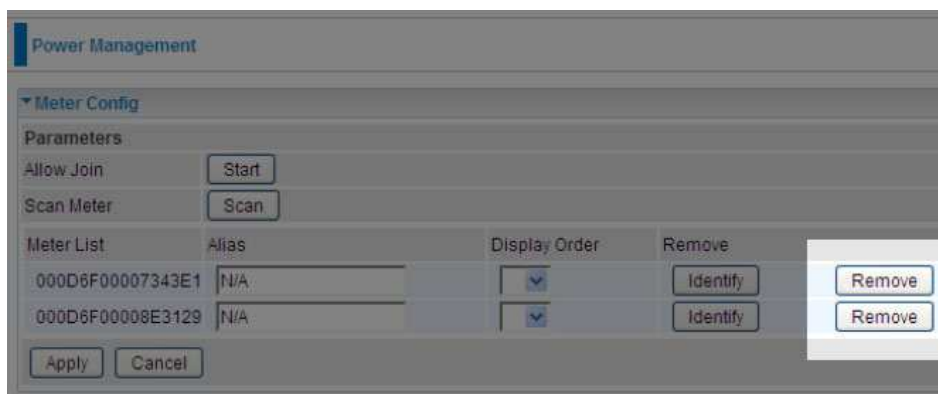
Através desta interface podem-se selecionar quais medidores serão adicionados à rede através do botão *Start* no parâmetro *Allow Join*, esta tela também permite que cada medidor seja nomeado individualmente, conforme a figura 17.



**Figura 17: Função Allow Join**

Fonte: Autoria Própria (2014)

Na mesma tela é possível remover da rede os medidores já existentes, como pode ser observado na figura 18.



**Figura 18: Função remove**

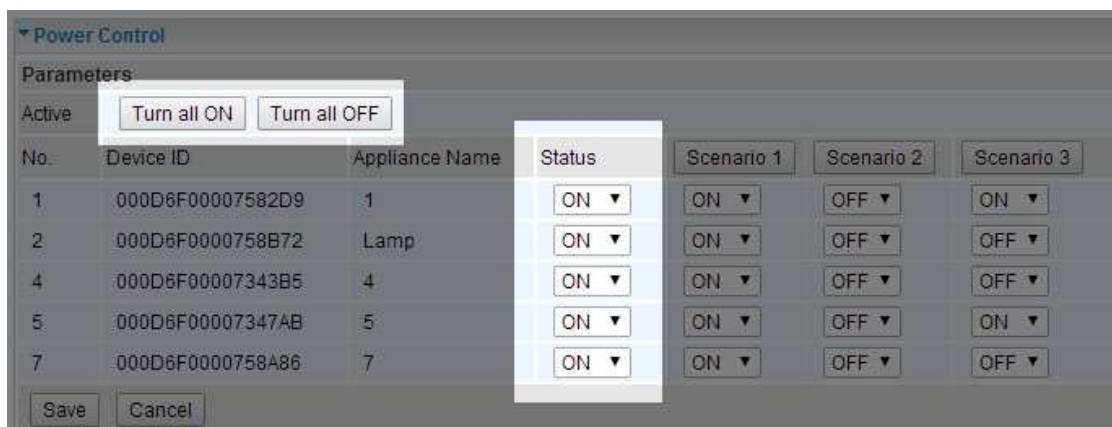
**Fonte: Aatoria Própria (2014)**

Após a configuração da conexão de roteamento, os medidores estão prontos para receber comandos através da página de controle do coordenador em um computador conectado à rede ou até mesmo de *smartphones* que estejam devidamente configurados.

### 3.2.3 Teste de comando – On/Off remote- ZigBee

Os medidores ZigBee testados SG 3010 –T2 e SG 3010-T4, como descrito anteriormente, apresentam entre outras funcionalidades, a função ON/OFF remoto, ou seja, através de uma interface, página na internet ou interface do *gateway* pode se enviar comandos aos medidores para ligar ou desligar a alimentação do equipamento conectado na sua saída.

Para verificar o funcionamento de comandos remotos enviados aos medidores ZigBee, foram enviadas instruções a todos os SG3010-T2 partindo do computador conectado ao coordenador ZigBee, de outras máquinas conectadas à rede Furukawa e de *smartphones* pareados ao *Gateway*. Os comandos podem ser enviados individualmente à cada medidor ou à todos os medidores simultaneamente, conforme é demonstrado na figura 19.



**Figura 19: Função All On**

Fonte: Autoria Própria (2014)

Na mesma tela é possível criar cenários de acionamento. No exemplo da figura 20, o cenário 3 envia o comando ON para os medidores de número 1 e 4, enquanto os medidores 2, 4 e 7 recebem o comando OFF.



**Figura 20: Exemplo de cenário**

Fonte: Autoria Própria (2014)

### 3.2.4 Teste de comunicação - ZigBee

Para o teste de comunicação, os medidores ZigBee foram colocados em diferentes locais no interior dos salões administrativos da Furukawa, de tal forma que fosse possível simular distâncias e anteparos existentes em uma utilização residencial, e também verificar possíveis interferências, desconexões ou perda de

comunicação com qualquer um dos medidores ZigBee. Lembrando que a distância ótima de transmissão pode ser afetada por obstáculos ou paredes entre os medidores e o coordenador.

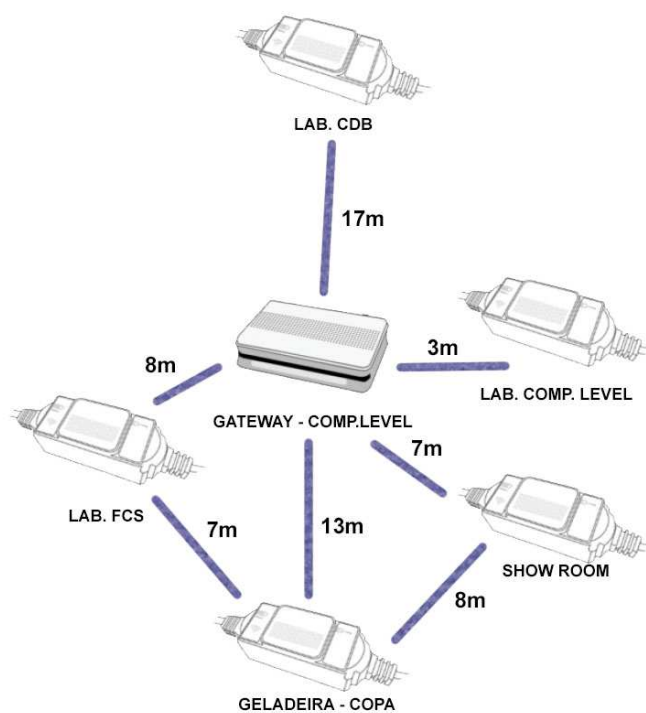
Utilizando a interface *Power Management* foram atribuídos nomes auto descritivos a cada medidor, a fim de facilitar a identificação de cada um deles. Os nomes atribuídos e o local de instalação estão descritos no quadro 3.

**Quadro 3: Localização/Aplicação ZigBee**

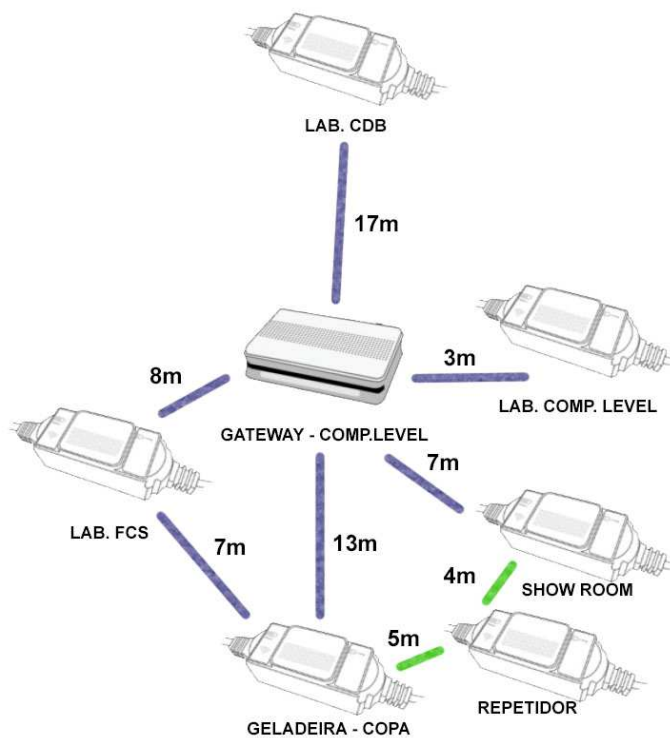
Nº	Nome	Local de instalação	Aplicação
1	QDFL	Quadro de Força e Luz da bancada de testes fixada no laboratório Component Level (LAB)	Verificar os parâmetros elétricos do circuito das lâmpadas
2	COPA	Copa/ Salão administrativo	Monitorar os parâmetros elétricos de uma geladeira
3	SHOW ROOM	Abaixo do piso elevado do show room	Monitorar os parâmetros elétricos de um rack de telecomunicações
4	LAB	Bancada de testes do laboratório Component Level	Monitorar um abajour
5	Lab-CDB	Laboratório CDB	Repetidor de sinal
6	Lab-FCS	Laboratório Furukawa Cabling System	Monitorar uma régua de energia

Fonte: Autoria Própria (2014)

Afim de verificar a funcionalidade e o efeito que um *Smart Meter* possui no circuito quando inserido como dispositivo repetidor de sinal, foram testadas duas diferentes topologias. A primeira topologia demonstrada na figura 21 utiliza apenas dispositivos “*end devices*” em que a comunicação é simples e feita diretamente com o coordenador. Na segunda topologia, evidenciada na figura 22, foi inserido um *Smart Meter* operando como repetidor de sinal entre o *Show Room* e a Copa-Geladeira.



**Figura 21: Topologia sem repetidor de sinal**  
**Fonte: Autoria Própria (2014)**



**Figura 22: Topologia com repetidor de sinal inserido**  
**Fonte: Autoria Própria (2014)**

### 3.2.5- Teste de medição - ZigBee

O teste de medição foi realizado a fim de verificar a precisão dos medidores ZigBee na leitura dos parâmetros elétricos do circuito. As grandezas ensaiadas em alguns medidores foram tensão (V) e corrente elétrica (A) e as medidas coletadas pelos *Smart Meters* confrontadas com os valores medidos pelos seguintes multímetros:

- EL061-098, marca Fluke, modelo 337, utilizado para medir corrente.
- ET 1002, marca Minipa, CAT/600V, utilizado para medir tensão.

A tabela 1 apresenta as medidas coletadas durante o teste.

**Tabela 1: Valores medidos / ZigBee**

Equipamento	Nome	Corrente (A) ZigBee	Corrente (A) Multímetro Fluke	Tensão (V) ZigBee	Tensão (V) Multímetro Minipa
SG 3010 T2	LAB	0,37	0,4	122,43	122,32
SG 3010 T2	SHOWROOM	1,5	1,5	122,65	122,53
SG 3010 T2	Lab-FCS	2,73	2,7	118,95	118,90
SG 3010 T4	QDFL	6,61	6,6	218	218

Fonte: Autoria própria (2014)

## 3.3 TESTES REALIZADOS NOS *SMART METERS* PLC SG2097

### 3.3.1 Características dos *Smart Meters* PLC SG2097

Assim como os medidores ZigBee, os *Smart Meters* PLC SG2097 são compactos e possuem várias funcionalidades, mas ao contrário da tecnologia ZigBee, que conta com transmissão de dados via redes sem fio, os medidores PLC utilizam o sinal da própria rede elétrica e sua transmissão de dados é feita via cabos RJ45.



As funções de medição incluem:

- Potência Ativa (W)
- Consumo Total Acumulado de energia (kWh)
- Consumo de energia em Intervalos (kWh)
- Tensão (V)
- Corrente (A)
- Potência Aparente (VA)
- Fator de Potência (PF)

Os medidores PLC SG2097 utilizam o mesmo *Gateway* coordenador que os ZigBee SG3010, as funções de monitoramento e medição também são feitas através da página *Power Management System* do coordenador. De acordo com o fabricante, são capazes de medições com precisão de  $\pm 3\%$ .

### 3.3.2 Teste de conectividade - PLC

O procedimento de instalação e configuração do medidor PLC, analogamente ao medidor ZigBee, é simples e intuitivo:

1- Conecta-se um cabo RJ45 ao medidor e em seguida conecta-se o medidor à uma tomada

2- Conecta-se o medidor fisicamente à um notebook que esteja pareado ao coordenador

3- Com o medidor já conectado, aperta-se o botão SYNC localizado no medidor para que o mesmo seja detectado na página de gerenciamento do coordenador, possibilitando que o mesmo seja adicionado à rede

Este processo está demonstrado na figura 23.

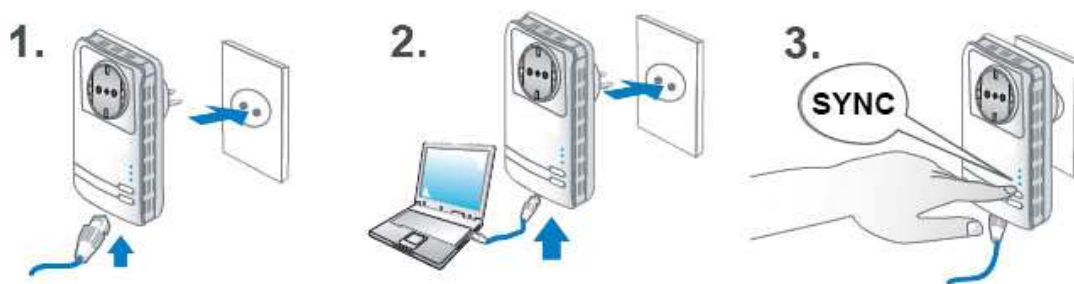


Figura 23: Detalhe da instalação / PLC

Fonte: Adaptado de BILLION (2014).

### 3.3.3 Teste de comandos On/Off - PLC

Os medidores PLC SG2097, assim como os Medidores ZigBee, também apresentam a função ON/OFF remoto. Através da interface do *Gateway* ou página na internet é possível enviar comandos aos medidores para ligar ou desligar a alimentação do equipamento conectado na sua saída.

Para verificar o funcionamento de comandos remotos enviado aos medidores PLC, foram enviadas instruções a todos os SG2097 partindo do computador conectado ao coordenador, de outras máquinas conectadas à rede Furukawa e de *smartphones* pareados ao Gateway. Similar aos medidores ZigBee os comandos ON/OFF podem ser enviados individualmente à cada medidor e/ou à todos os medidores simultaneamente. Na interface *Power Management System* também é possível a criação de diferentes cenários de acionamento.

### 3.3.4 Teste de comunicação - PLC

A estabilidade da comunicação PLC, devido à sua característica de utilizar a própria rede elétrica para transmissão de dados, está sujeita à todo tipo de ruídos e interferências causadas por fontes chaveadas, motores e até mesmo dimmers. Além disso, outros parâmetros da rede como impedância, frequência e atenuação variam drasticamente ao longo do tempo à medida que luzes ou aparelhos ligados à rede são ligados ou desligados.

A fim de avaliar os efeitos destes ruídos na transferência de pacotes de dados dos *smart meters* PLC em uma residência comum, foram ensaiadas diferentes configurações de circuito com diferentes cargas e aparelhos, simulando então, diferentes tipos de interferência na rede. Esse procedimento foi realizado com a inserção de furadeira, secador de cabelo e aspirador de pó ao circuito da bancada de testes. A figura 24 mostra o ensaio realizado com duas furadeiras ligadas ao circuito.



**Figura 24: Circuito / Teste comunicação**

**Fonte: Aatoria Própria (2014)**

### **3.3.5 Teste de medição –PLC**

O teste de medição foi realizado a fim de verificar a precisão dos medidores PLC na leitura dos parâmetros elétricos do circuito. As grandezas ensaiadas em alguns medidores foram tensão (V) e corrente elétrica (A) e as medidas coletadas pelos *Smart Meters* confrontadas com os valores medidos pelos seguintes multímetros:

- EL061-098, marca Fluke, modelo 337, utilizado para medir corrente.
- ET 1002, marca Minipa, CAT/600V, utilizado para medir tensão.

A medida do PLC 1 foi realizada com uma furadeira (400W) em funcionamento e a do PLC 2 com um Secador de cabelo (1700W). A tabela 2 apresenta os valores obtidos.

Tabela 2: Valores medidos / PLC

Equipamento	Nome	Corrente (A) PLC	Corrente (A) Multímetro Fluke	Tensão (V) PLC	Tensão (V) Multímetro Minipa
SG 2097	PLC 1	3,23	3.2	123,83	123,75
SG 2097	PLC 2	13,92	13,9	121,87	121,80

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2014)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo analisa e discute os resultados encontrados nos ensaios dos *smart meters* ZigBee e *smart meters* PLC nos ensaios de conectividade, comunicação, comandos On/Off e medição.

### 4.1 ANÁLISES DOS RESULTADOS - SMART METERS ZIGBEE

#### 4.1.1 Resultados - teste de conectividade ZigBee

Neste experimento realizou-se a energização do dispositivo junto à rede elétrica e a configuração do medidor através do *Gateway*. Verificou-se que tal processo é intuitivo e de fácil execução.

Na inspeção visual do corpo do medidor e nas terminações dos cabos de energia, não foram encontradas imperfeições no isolamento e acabamento do corpo do medidor que venham à expor as partes energizadas, não comprometendo a segurança do usuário.

#### 4.1.2 Resultados - teste de Função On/Off remote ZigBee

Para os testes de On/Off remoto dos medidores PLC esperava-se que os dispositivos respondessem prontamente aos comandos individuais, bem como aos cenários de acionamentos programados. Verificou-se que em todas as situações não ocorreram falhas.

#### 4.1.3 Resultados - teste comunicação ZigBee

O teste de Comunicação foi realizado com o intuito de avaliar a estabilidade do tráfego de dados da rede ZigBee em diferentes configurações. Verificou-se que, os dispositivos configurados como repetidores de sinal, inseridos em pontos estratégicos da rede, melhoraram a qualidade do sinal e diminuíram a perda de pacotes de dados.

Nas duas topologias analisadas, verificou-se que, a inserção de um dispositivo configurado como repetidor melhorou significativamente a qualidade do sinal de um dispositivo end device, localizado à uma grande distância do gateway.

Inicialmente o *Gateway* recebia um sinal com somente 20% de intensidade do medidor COPA. Com a configuração de um medidor sem carga, agindo somente como repetidor de sinal, colocado no ponto médio entre o *Gateway* e o medidor COPA, a intensidade do sinal passou a 76%. Estes parâmetros foram obtidos através da tela *Power Status* da interface *Power Management* do *Gateway*, a comparação dos dois cenários pode ser observada na figura 25.

Appliance	Model Name	Power Status	Signal Strength
			<b>COM REPETIDOR</b>
COPA	SG3010	ON	76%(Rssi:-77 ,Lqi:255)
			<b>SEM REPETIDOR</b>
COPA	SG3010	ON	20%(Rssi:-96 ,Lqi:97)

Figura 25: Comparação dos cenários

Fonte: Autoria Própria (2014)

#### 4.1.4 Resultados - teste de medição ZigBee

O ensaio de medição foi realizado com o objetivo de apurar a precisão dos medidores na coleta dos parâmetros elétricos do circuito. Neste ensaio, o esperado era que os valores coletados possuíssem erro de aproximadamente 1%, informado pelo fabricante.

Os erros de cada medidor podem ser visualizados na tabela 3 e foram calculados pela equação:

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\text{Valor medido no Smart Meter} - \text{Valor medido no Multímetro}}{\text{Valor medido no Multímetro}} \times 100$$

**Tabela 3: Erro (%) ZigBee**

Equipamento Nome	Corrente (A) ZigBee	Corrente (A) Multímetro Fluke	Erro Corrente (%)	Tensão (V) ZigBee	Tensão (V) Multímetro Minipa	Erro Tensão (%)
SG 3010 T2 LAB	0,37	0,4	-7,50%	122,43	122,32	0,09%
SG 3010 T2 SHOWROOM	1,5	1,5	0,00%	122,65	122,53	0,10%
SG 3010 T2 Lab-FCS	2,73	2,7	1,11%	118,95	118,90	0,04%
SG 3010 T4 QDFL	6,61	6,6	0,15%	218	218	0,00%

Fonte: Autoria própria (2014)

Pode-se observar que dos quatro medidores testados apenas o dispositivo LAB, no quesito de corrente, obteve valor de erro distante do anunciado pelo fabricante. Isto se deve ao fato do alicate amperímetro utilizado marca Fluke, modelo 337, possuir apenas uma casa decimal, tornando imprecisas suas medições para baixas ordens de grandeza.

Nota-se que para valores de corrente e tensão da ordem de grandeza de uma unidade ou superior todos os medidores obtiveram resultados satisfatórios e próximos ao 1% divulgados pelo fabricante.

## **4.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS - SMART METERS PLC**

### **4.2.1 Resultados - teste de conectividade PLC**

Neste experimento realizou-se a energização do dispositivo PLC junto à rede elétrica e o pareamento com o coordenador *Gateway*. Verificou-se que tal processo é intuitivo e de fácil execução.

Devido a não compatibilidade dos terminais do equipamento SG2097 com as tomadas brasileiras foi necessário a utilização de adaptadores para compatibilizar a conexão, porém pelas características de acabamento do produto, não há riscos de choque elétrico no momento da conexão e desconexão do equipamento à tomada.

### **4.2.2 Resultados - teste de Função On/Off remote PLC**

Para os testes de On/Off remoto dos medidores PLC esperava-se que os dispositivos respondessem prontamente aos comandos individuais, bem como aos cenários de acionamentos programados. Verificou-se que em todas as situações não ocorreram falhas.

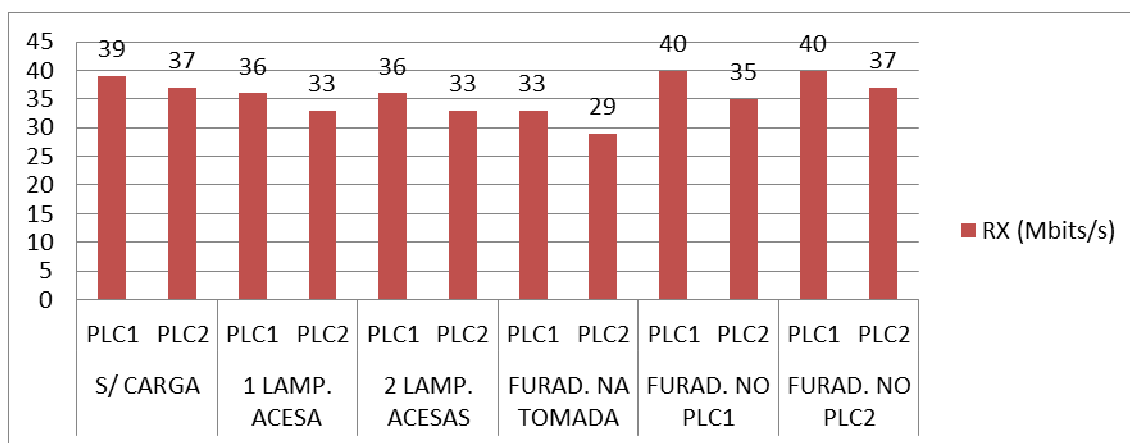
### **4.2.3 Resultados - teste de comunicação PLC**

O teste de Comunicação foi realizado com o intuito de avaliar a estabilidade do tráfego de dados da rede PLC em diferentes configurações. Era esperado que os ruídos na rede elétrica comprometessem a estabilidade e a taxa de transmissão de dados dos medidores.

Na prática, verificou-se que os módulos PLC apresentaram boa estabilidade frente aos ruídos introduzidos no circuito elétrico. As taxas de transferência ficaram estáveis, em torno de 36 Mbps para as diversas configurações de carga analisadas.

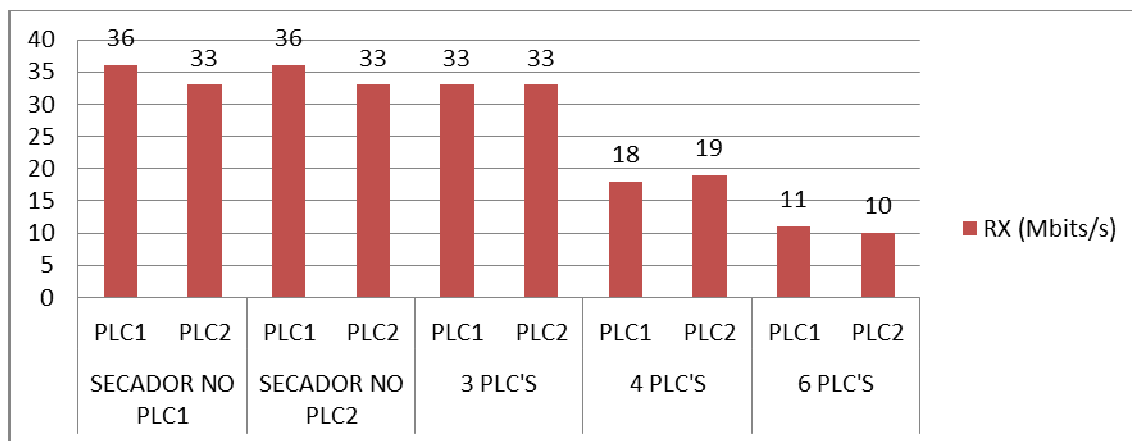
Os valores de taxa de transferência média (Rx) em Mbps dos PLCs foram obtidos através da interface *Power Management* do coordenador da rede e podem ser observados nos gráficos 1 e 2.

**Gráfico 1: Taxa de transferência de dados PLC – cenário 1**



Fonte: Autoria Própria (2014)

**Gráfico 2: Taxa de transferência de dados PLC – cenário 2**



Fonte: Autoria própria (2014)



Pode-se observar no gráfico 1 que a comunicação dos PLCs se manteve estável em variadas configurações de carga.

No gráfico 2 pode-se verificar que a única situação em que ocorreu diminuição significativa da taxa de transferência de dados foi com o circuito sem nenhuma carga e vários PLCs operando à vazio.

Essa diminuição ocorre porque quanto maior o número de PLCs operando à vazio, maior é a interferência entre eles e maior é o espaço que eles ocupam na banda de comunicação, atenuando a taxa de transferência dos dois PLCs monitorados.

#### 4.2.4 Resultados - teste de medição PLC

O ensaio de medição foi realizado com o objetivo de apurar a precisão dos medidores na coleta dos parâmetros elétricos do circuito. Neste ensaio, o esperado era que os valores coletados possuíssem erro inferior aos 3%, informado pelo fabricante.

Os erros de cada medidor podem ser visualizados na tabela 4 e foram calculados pela mesma equação utilizada no teste do ZigBee:

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\text{Valor medido no Smart Meter} - \text{Valor medido no Multímetro}}{\text{Valor medido no Multímetro}} \times 100$$

**Tabela 4: Erro (%) PLC**

Equipamento Nome	Corrente (A) PLC	Corrente (A) Multímetro Fluke	Erro Corrente (%)	Tensão (V) PLC	Tensão (V) Multímetro Minipa	Erro Tensão (%)
SG 2097 PLC1	3,24	3,2	1,25	123,83	123,75	0,06
SG 2097 PLC2	13,92	13,9	0,14	121,87	121,80	0,05

Fonte: Autoria própria (2014)

Pode-se observar que os dois medidores nas grandezas de corrente e tensão obtiveram resultados satisfatórios e dentro dos 3% informado pelo fabricante.

### 4.3 Resumo dos resultados obtidos

O quadro 4 apresenta uma breve síntese dos resultados obtidos.

**Quadro 4: Comparativo de Resultados**

	<b>ZigBee</b>	<b>PLC</b>
<b>Conectividade</b>	- <i>Wireless</i> ; -Não apresentou problemas quanto ao pareamento com o <i>Gateway</i> ;	-Via cabo (RJ45); -Necessitou de adaptadores para a energização, mas não apresentou maiores problemas quanto ao pareamento;
<b>Comando On/Off</b>	- Comandos enviados a partir do <i>Gateway</i> não apresentaram falhas;	- Comandos enviados a partir do <i>Gateway</i> não apresentaram falhas;
<b>Comunicação</b>	-Não apresentou problemas com ruídos -Apresentou perda de sinal em dispositivos distantes, o problema foi resolvido satisfatoriamente com o emprego de um repetidor de sinal;	- Não apresentou problemas com ruídos; - Circuito sem carga prejudicou a taxa de transferência, que em todas as outras situações se manteve estável;
<b>Medição</b>	- Todas as medições ficaram dentro da faixa de erro de 1% informada pelo fabricante;	- Todas as medições ficaram dentro da faixa de erro de 3% informada pelo fabricante;

**Fonte: Autoria própria (2014)**

## 5. CONCLUSÃO

O conceito de *Smart Grid* é recente, mas ele representa a evolução natural e necessária da rede elétrica. A utilização desta tecnologia promove várias melhorias, facilitando o monitoramento do consumo de energia nas residências, deixando o consumidor mais informado sobre o seu próprio perfil de uso de energia, promovendo o uso mais consciente da energia elétrica. Além disso, o *Smart Grid* também traz para dentro das residências tecnologias de monitoramento e acionamento remoto, gerando mais comodidade para o consumidor.

Ambas as tecnologias estudadas neste trabalho mostraram-se eficientes e atendem com êxito ao que se propõem. O ZigBee e o PLC possuem aplicações similares, sendo a tecnologia de transmissão de dados a diferença fundamental entre elas. Em estudos preliminares, esperava-se que houvesse comprometimento da estabilidade da comunicação da rede, porém nem os ruídos na rede (PLC) e nem a perda de sinal (ZigBee) se mostraram como problemas nos ensaios realizados. Os equipamentos testados SG 3010-T2, SG 2010-T4, SG-2097 funcionaram satisfatoriamente com relação as descritas no manual do fabricante. Na análise das tecnologias concluiu-se que os *smart meters* são robustos, tiveram ótimo desempenho nos testes de acionamento remoto, e se mostraram bem calibrados com relação as funções de medidas elétricas.

Com relação aos módulos PLC (SG-2097), existe a necessidade de adequação dos terminais de conexão elétrica para o novo padrão brasileiro, conforme estabelece a NBR 14136. Com relação a banda passante verificou-se que os ruídos na rede não se mostraram um problema, em todos os cenários com carga a taxa ficou estável, na média de 35 Mbps. No cenário que o número elevado de PLCs operando à vazio interfere significativamente na taxa de transferência de dados o valor obtido foi 10 Mbps, valor este, abaixo dos 200 Mbps divulgados pelo fabricante, mas ainda assim adequado para funcionar como *smart meter*.

Os *Smart Meters* ZigBee (SG3010-T2 e SG3010-T4), apresentaram perfeito funcionamento com relação a coleta de dados e apuração das grandezas elétricas monitoradas. A perda de sinal proveniente de grandes distâncias ou anteparos entre o medidor e o coordenador pode ser contornada facilmente com o uso de repetidores de sinal.

Como continuidade deste trabalho e a fim de agregar uma nova perspectiva ao tema, surge a possibilidade de se realizar os mesmos testes com a tecnologia Z-Wave, avaliando o seu desempenho como tecnologia *Smart Grid* no âmbito residencial e comparando com as tecnologias ensaiadas neste trabalho.

Espera-se que este trabalho contribua para o gradual processo de familiarização do sistema elétrico nacional com os conceitos de *Smart Grid*, facilitando a compreensão da natureza das tecnologias abordadas bem como suas aplicações.

## 6. REFERÊNCIAS

AGGARWAL, A.; KUNTA, S.; VERMA, P. K. A Proposed Communications Infrastructure for the Smart Grid. **IEEE Xplore**, p. 1–5, 2010. Disponível em: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5434764&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D5434764](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5434764&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5434764). Acesso em 18 janeiro 2014.

AIROLDI, Douglas. **Sistema de comunicação de dados pela rede elétrica, de baixo custo, aplicado a uma rede de medidores individuais de energia elétrica residencial: concepção do circuito, protótipo e testes**. 2011. Dissertação (Mestrado em Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica)– Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP. 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000838319>. Acesso em: 19 janeiro de 2014.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL regulamenta medidores eletrônicos**. Informações técnicas ANEEL, 08 de agosto de 2012. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5903&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5903&id_area=90). Acesso em 19 de julho de 2013.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Alterações no sistema tarifário levando em conta a variação horária e sazonal da tarifa para consumidores residenciais**. 2011. Resolução Normativa nº 4644, de 22 de novembro de 2011.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Coordenação de incentivos a geração distribuída de pequeno porte conectadas à rede de distribuição**. 2012. Resolução Normativa nº 4823, de 17 de abril de 2012.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Implantação de medidores eletrônicos inteligentes em consumidores residenciais**. 2011. Audiência pública nº 43/2010, de 26 de janeiro de 2011.

BANDEIRA, Fausto de P. M. **REDES DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTES (SMART GRIDS)** – 2012 Nota Técnica - Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados – Disponível em: [http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012\\_7872.pdf](http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012_7872.pdf) Acesso em 25 junho 2013.

BILLION, Group. **Billion PLC SG2097**. 2014. Manual do produto. Disponível em: <http://www.billion.com/product/home-networking/BillionSG2097-Smart-Energy-PLC-Adapter.html>. Acesso em: 21 de abril de 2014.

BILLION, Group. **Billion SG6200NXL**. 2014. Manual do produto. Disponível em: <http://smartgrid.billion.com/datasheet/Billion-SG6200NXL-3G-Wireless-Smart-Energy-Gateway.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

BOCCUZI, Ciro et al. *Smart Grid é o futuro certo da distribuição de energia elétrica?*. **O Setor Elétrico**, edição nº 50, março. 2010. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/325-smart-grid-e-o-futuro-certo-da-distribuicao-de-energia-eletrica.html>. Acesso em 20 de julho de 2013.

BOLZANI, Caio Augustus Morais. **Residência Inteligente, Domótica, Redes Domésticas, Automação Residencial**, 1º Edição, São Paulo, Editora Livraria da Física, 2004.

BRANQUINHO, Omar C.; REGGIANI, Norma.; ANDREOLLO, Augusto G. **REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS SEM FIO – UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO**. 2005. Artigo científico – PUC, Campinas. Disponível em: <http://www.homexpert.com.br/areaservada/wp-content/uploads/2011/06/Redes-de-comunica%C3%A7%C3%A3o-sem-fio-Uma-an%C3%A1lise-de-desempenho.pdf> Acesso em 18 de dezembro de 2013.

CAMARGO, Camila. “**Smart Grid: a rede elétrica inteligente**”. Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm>. Acesso em 05 de janeiro de 2014.

CUNHA, Alessandro. PLC - Power Line Communication. **O Setor Elétrico**, edição nº 44, setembro. 2009. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/141-plc-power-line-communication.html>. Acesso em 08 de janeiro de 2014.

EVANGELISTA, Davi. **Integração de Redes de Sensores ZIGBEE para Automação Predial Utilizando Módulos Meshbean**. 2010. Trabalho de graduação em Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília. 2010. Disponível em: <http://lara.unb.br/~adolfo/tg/TG10%20Davi%20S.%20Evangelista.pdf>. Acesso em 12 fevereiro de 2014

FERREIRA, Marcus V. A. F. **PLC: Power line communication**. 2007. 27 f. Universidade Federal Fluminense, Ferreira, Niterói, 2007. Disponível em: <<http://www.radiocb.com/main/images/pdf/PLC.pdf>>. Acesso em: 15 dezembro de 2013.

FIBARO, Group. **Z-Wave smart home solution**. 2014. Disponível em: <http://intellinex.pl/intelligentny-dom.html>. Acesso em 18 março de 2014

**MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**. Eficiência Energética e Conservação de Energia. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/eficiencia-energetica>. Acesso em 15 de julho de 2013.

NIST- National Institute of Standards and Technologies. **NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0**. Disponível em: [http://www.nist.gov/public\\_affairs/releases/upload/smartgrid\\_interoperability\\_final.pdf](http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf). Acesso em 18 outubro de 2013.

PASCALICCHIO, Agostinho Celso. **Perspectiva econômica e modelo de negócio da tecnologia de telecomunicação nas redes de distribuição de energia elétrica no Brasil**. 2011. Tese (Doutorado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-07072011-142708/>. Acesso em: 24 janeiro de 2014.

RIBEIRO, Cido. **Redes de Sensores sem Fio**. Artigo técnico – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/grad/08\\_1/rssf/Padres.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/rssf/Padres.html). Acesso em: 18 de Janeiro de 2014.

SANTACANA, E.; RACKLIFFE, G.; TANG, L.; FENG, X. Getting Smart - With a Clearer Vision of the Intelligent Grid, Control Emerges from Chaos. **IEEE power & energy magazine**, edição abril, p. 41–48, 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5430489&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F8014%2F5430486%2F05430489.pdf%3Farnumber%3D5430489>. Acesso em: 04 fevereiro de 2014

VARGAS, Alessandra Antunes. **Estudo Sobre Comunicação de Dados Via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial**. 2004. Monografia (Trabalho de Fim de Curso de Engenharia de Computação) – Escola de Engenharia. Instituto de Informática. UFRGS. 2004. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2008/MARCIO%20FELICIANO.pdf>. Acesso em: 18 janeiro de 2014.