



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CAMPUS QUIXADÁ  
TÉCNOLOGO EM REDES DE COMPUTADORES**

**PAULO DE TARCIO FIGUEIREDO JUNIOR**

**EXPANSÃO DE REDE LOCAL UTILIZANDO POWER LINE  
COMMUNICATIONS (PLC)**

**QUIXADÁ  
2015**

**PAULO DE TARCIO FIGUEIREDO JUNIOR**

**EXPANSÃO DE REDE LOCAL UTILIZANDO POWER LINE  
COMMUNICATIONS (PLC)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Tecnólogo em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo.

Área de concentração: Computação

Orientador Prof. MSc. Marcos Dantas Ortiz

**QUIXADÁ  
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca do Campus de Quixadá

- 
- F49e Figueiredo Junior, Paulo de Tarcio  
Expansão de rede local utilizando Power Line Communications (PLC) / Paulo de Tarcio Figueiredo Junior. – 2015.  
63 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Tecnologia **em Redes de Computadores**, Quixadá, 2015.  
Orientação: Prof. Me. Marcos Dantas Ortiz  
Área de concentração: Computação
1. Redes de computadores 2. Sistemas de transmissão de dados 3. Redes locais de computadores  
I. Título.

**PAULO DE TARCIO FIGUEIREDO JUNIOR**

**EXPANSÃO DE REDE LOCAL UTILIZANDO POWER LINE COMMUNICATIONS  
(PLC)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Tecnólogo em Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnólogo.

Área de concentração: computação

Aprovado em: \_\_\_\_\_ / junho / 2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. MSc. Marcos Dantas Ortiz (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará-UFC

---

Prof. Dr. Arthur de Castro Callado  
Universidade Federal do Ceará-UFC

---

Prof. MSc. Michel Sales Bonfin  
Universidade Federal do Ceará-UFC

Aos meus pais...

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me ajudado diversas vezes em minha vida, nunca deixando que eu desistisse diante das dificuldades. Aos meus pais Paulo de Tarcio Figueiredo e Maria do Rosario Oliveira de Figueiredo, pelo amor, apoio, ensinamentos, e por terem me apoiado e me proporcionado uma excelente educação, tanto em casa como nas escolas por onde passei. Ao Prof. Marcos Dantas Ortiz, por sua dedicação na orientação e por mostrar soluções para os desafios encontrados durante criação deste trabalho, sendo uma grande referência de profissionalismo. Aos colegas de faculdade por compartilharem as alegrias e dificuldades desses anos de convívio, além de ajudar na construção do conhecimento que resultaram nessas páginas.

"Sonhos determinam o que você quer.  
Ação determina o que você conquista."  
(Aldo Novak)

## RESUMO

Este trabalho aborda a tecnologia de transmissão de dados *Power Line Communication*, apresentando seu funcionamento, seus tipos e aplicabilidade de uso. O estudo de caso desenvolvido para avaliação desta tecnologia se limitou à expansão de uma rede local usando a tecnologia *Power Line Indoor Communication*, que tem apresentado crescimento mundial em seu uso. Foi efetuada uma análise da qualidade de serviço, através de testes realizados no laboratório de informática da Escola de Ensino Fundamental Coronel Virgílio Távora, onde se analisou as métricas de vazão, latência e perda de pacotes. Testes estes feitos de forma comparativa entre o padrão de rede *Ethernet Category 5e* e o *Power Line Indoor Communication HomePlug AV*. Foi observada uma vantagem enorme para o padrão *Ethernet Category 5e* em termos de taxa de transferência e baixa latência. Por outro lado, nos testes, o *Power Line Indoor Communication* manteve assim como o padrão *Ethernet Category 5e*, uma taxa nula na perda de pacotes. Outra análise realizada, foi a de qualidade de experiência, em que usuários que utilizaram esta tecnologia em suas residências, foram entrevistados, e por meio de um formulário, elaborado de forma subjetiva, avaliaram e relataram suas experiências. Como resultado, foi relatada uma experiência de uso satisfatória, aproveitando todos os benefícios que a tecnologia proporciona, e ainda recomendando para outras pessoas. Outro fator interessante foi o uso do *Power Line Indoor Communication* em conjunto com o *Wi-Fi*, expandindo o alcance das redes sem fio. Por fim, conclui-se que o *Power Line Indoor Communication*, é uma tecnologia recomendada para o uso em ambientes onde não há necessidade de grande tráfego de dados e nem de uma latência baixa, mas onde deseja-se expandir o alcance da rede local de forma fácil e eficiente.

Palavras chave: *Power Line Communication*. *HomePlug*. Rede de computadores. Análise de desempenho.

## **ABSTRACT**

This paper deals with data transmission technology Power Line Communication, presenting its operation, types and applicability of use. The case study designed to evaluate this technology was limited to the expansion of a local network using Power Line Indoor Communication technology, which has shown world growth in their use. An analysis of service quality was conducted through tests in the computer lab of the Elementary School Colonel Virgílio Távora, which analyzed the flow metrics, latency and packet loss. These tests done on a comparative basis between standard Ethernet Category 5e network and the Power Line Indoor Communication HomePlug AV. A huge advantage was observed for Ethernet Category 5e standard for throughput and low latency. On the other hand, in the tests, Power Line Communication Indoor maintained as the Ethernet standard Category 5e, a null rate in packet loss. Another analysis was the quality of experience, where users who used this technology at their homes, were interviewed, and through a form prepared subjectively evaluated and reported on their experiences. As a result, a satisfactory user experience has been reported, taking advantage of all the benefits that technology provides and also recommending it to others. Another interesting factor was the use of Power Line Indoor Communication together with Wi-Fi, expanding the reach of wireless networks. Finally, it is concluded that the Power Line Indoor Communication is a technology recommended for use in environments where there is no need for large data traffic and low latency, but where it is desired to expand the range of the local network in a easy and efficient way.

Keywords: Power Line Communication. HomePlug. Computer networks. Performance analysis.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo TCP/IP.....	17
Tabela 2 - Comparativo de PLC com tecnologias de acesso fixo.....	19
Tabela 3 - Comparativo de PLC com tecnologias de acesso sem fio.....	20
Tabela 4 - Comparativo de PLC com outras tecnologias de acesso.....	21
Tabela 5 - Uma visão geral dos padrões PLC e suas funcionalidades.....	28
Tabela 6- Configuração dos computadores.....	38
Tabela 7 - Configuração do notebook.....	39
Tabela 8 - Dispositivos eletrônicos do laboratório de informática.....	42
Tabela 9 - Resultados com Cat. 5e em 2 metros.....	47
Tabela 10 - Resultados com PLC em 2 metros.....	48
Tabela 11 - Resultados com Cat. 5e em 5 metros.....	49
Tabela 12 - Resultados com PLC em 5 metros.....	50
Tabela 13 - Resultados da latência com Cat. 5e.....	52
Tabela 14 - Resultados da latência com PLC.....	53
Tabela 15 - Resultados da 1ª questão.....	53
Tabela 16 - Resultados da 2ª questão.....	54
Tabela 17 - Resultados da 3ª questão.....	54
Tabela 18 - Resultados da 4ª questão.....	55
Tabela 19 - Resultados da 5ª questão.....	55
Tabela 20 - Resultados da 6ª questão.....	55
Tabela 21 - Vantagens e desvantagens do PLC indoor.....	57

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Topologias físicas.....	17
Figura 2 - Geração e distribuição de energia elétrica.....	22
Figura 3 - Padrões HomePlug.....	29
Figura 4 - PRTG.....	35
Figura 5 - Adaptador PLC TL-PA2010kit.....	37
Figura 6 - Exemplo de funcionamento do adaptador TL-PA2010kit.....	38
Figura 7 - Problema de cabeamento estruturado.....	40
Figura 8 - Rack do DIO.....	40
Figura 9 - Laboratório de informática.....	41
Figura 10 - Switch do laboratório.....	41
Figura 11 - Cenário de geração de tráfego Cat. 5e.....	43
Figura 12 - Cenário de geração de tráfego PLC.....	43
Figura 13 - Cenário de expansão de rede at. 5e.....	44
Figura 14 - Cenário de expansão de rede PLC.....	45
Figura 15 - Vazão com Cat. 5e em 2 metros.....	47
Figura 16 - Vazão PLC em 2 metros.....	48
Figura 17 - Vazão com Cat. 5e em 5 metros.....	49
Figura 18 - Vazão com PLC em 5 metros.....	50
Figura 19 - Tempo de <i>ping</i> em Cat. 5e.....	51
Figura 20 - Tempo de <i>ping</i> em PLC.....	52

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Estrutura.....	14
2 TRABALHOS RELACIONADOS.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Redes de computadores.....	16
3.2 Expansão de rede.....	18
3.3 Rede elétrica.....	21
3.4 Power Line Communiation.....	22
3.4.1 Funcionamento.....	22
3.4.2 Tipo de PLC.....	24
3.4.3 PLC e a Smart Grid.....	25
3.4.4 Padronização.....	26
3.5 Metodologia.....	29
4 PROCEDIMENTOS.....	31
4.1 Métricas.....	31
4.1.1 Vazão.....	31
4.1.2 Latência.....	31
4.1.3 Perda de pacotes.....	32
4.2 Fórmulas estatísticas.....	32
4.2.1 Média Aritmética.....	33
4.2.2 Variância.....	33
4.2.3 Desvio Padrão.....	33
4.2.4 Intervalo de confiança.....	34
4.3 Ferramentas.....	34
4.3.1 IPERF.....	34
4.3.2 PRTG.....	35
4.4 Equipamentos.....	36
4.4.1 Adaptador PLC.....	36
4.4.2 Computadores.....	38
4.4.3 Cabos.....	39
5 ESTUDO DE CASO.....	39
5.1 Ambiente de Testes.....	39
5.2 Cenários.....	42
5.2.1 Teste de geração de tráfego.....	42
5.2.2 Teste de Expansão de rede.....	44
5.2.3 Uso residencial.....	46
6 TESTES.....	46
6.1 Testes de geração de tráfego.....	46
6.2 Teste de expansão de rede.....	50
6.3 PLC residencial.....	53

6.4	Limitações.....	56
6.5	Análise dos dados.....	56
7	CONCLUSÕES.....	58
	REFERÊNCIAS.....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A atual e intensa necessidade humana de comunicação seja ela para os mais diversos fins, tem causado o rápido crescimento de consumo de vários serviços, trazendo como consequência a explosão de novas redes e alto tráfego de dados, elevando-se assim a capacidade de transmissão dessas redes.

Nesta perspectiva, várias tecnologias tentam suprir essa demanda de acesso pelos mais diversos meios possíveis de trafegar dados, seja por cabos de fibra óptica, que atualmente é o meio físico mais usado, e por essa demanda elevada, está atingindo o seu limite de transmissão máximo (NEW SCIENTIST, 2015). Outros meios disponíveis para transmissão de dados como cabos de par metálicos, comunicação sem fio, ou até mesmo por redes já existentes, como a rede de telefonia ou rede de distribuição de energia elétrica. Neste último caso, enquadra-se o *Power Line Communications* (PLC) que, segundo Cisco (2014), fornece a capacidade de transmitir dados através de linhas de energia. Com isso, além de reutilizar essa infraestrutura, ele reduz significativamente os custos de instalação.

A tecnologia PLC não é assim tão nova. Segundo Ferreira et al. (2010, p. 1) o PLC têm sido estudado há muitos anos, com trabalhos datados do início do século XX. Nessa época era usado apenas com a finalidade de medição e controle de subestações elétricas. Desde então, muita pesquisa tem sido feita. O interesse aumentou durante a década de 1980 e se intensificou durante a década de 1990.

Além disso, atualmente o padrão *HomePlug AV*, tem tido um expressivo avanço de uso em termo mundial. Viabilizando a expansão de redes locais através do PLC em âmbito *indoor* (HOMEPLUG, 2015).

Com isso, através do padrão *HomePlug AV*, espera-se solucionar o problema de conectividade encontrado no laboratório de informática da E.E.F. Cel. Virgílio Távora. Que atualmente passa por dificuldades infraestruturais de rede.

Para solucionar este problema, a pesquisa visa demonstrar através de testes de QoS, a viabilidade desta tecnologia para o laboratório, e outros ambientes semelhantes. Além disso, também é feita uma análise de QoE, por meio de um formulário eletrônico, respondido por usuários residenciais que fizeram uso desta tecnologia.

Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho pretende contribuir para disseminação de conhecimento sobre essa tecnologia, além de apresentar uma nova forma de solucionar possíveis problemas relacionados a expansão de pequenas redes locais, apresentando de forma clara e objetiva, como essa tecnologia se comporta em ambiente real

de produção. Para isso, foi necessário alocar um local de experimentação onde outros meios de transmissão não estavam disponíveis, visando com isso, contribuir para exploração desse novo meio de transmissão de dados e expansão do alcance de redes.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo geral

Avaliar a expansão de uma rede local utilizando o *Power Line Indoor Communications* (PLIC).

### Objetivos específicos

- Identificar e apresentar as vantagens e desvantagens do uso da PLC para transmissão de dados;
- Fazer uma análise de desempenho, para avaliar o QoS de uma rede expandida através da tecnologia PLC *indoor*;
- Fazer uma análise qualitativa de QoE, de uma rede expandida pelo PLC *indoor* em ambientes residenciais.

## 1.2 Estrutura

Este trabalho está dividido em sete seções, iniciando-se pela introdução (o capítulo atual), onde é introduzido a contextualização e os objetivos deste trabalho. Na próxima sessão é apresentado os trabalhos relacionados que se baseou essa pesquisa. Na fundamentação teórica são apresentados os conceitos de redes de computadores e expansão de rede, rede elétrica e PLC, além da metodologia utilizada. Na quarta seção são listados os procedimentos, apresentando as métricas, formulas estatísticas ferramentas e equipamentos empregados na pesquisa. Na quinta seção, apresenta-se o desenvolvimento do trabalho, onde são apresentados o ambiente de testes e cenários. Na sexta seção são listados os testes de análise de geração de tráfego, expansão de rede e PLC residencial. Além das limitações encontradas e análise dos dados, e seus respectivos resultados. Por último, têm-se as conclusões obtidas por este trabalho.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

A Existem vários trabalhos relacionados com a transmissão de dados utilizando a tecnologia *Power Line Communication*, e em vários deles foram implementados ambientes de testes, como residências, empresas, indústrias e instituições de ensino. O presente trabalho apresenta um estudo com medições de rede em cenários reais, usando PLC *indoor*, tanto em um laboratório de informática como em residências de usuários.

Dentre essa variedade de trabalhos, alguns se destacam em relação às análises e metodologias empregadas. Em Carmona (2011), é apresentada uma análise de desempenho de aplicações *triple play*<sup>1</sup>, através da tecnologia *Power Line Communication*, visando a qualidade do serviço e qualidade de experiência. Os resultados foram obtidos de cenários residenciais, através de testes realizados com transmissões de chamadas VoIP, transmissão de vídeo em alta definição e dados. Em relação a transmissão VoIP, teve uma péssima qualidade uma vez que quatro chamadas foram feitas e apenas duas se estabeleceram. Nos testes de transmissão de vídeo em HD, obteve índices bastante satisfatórios em todas as métricas utilizadas na avaliação. Por último na geração de tráfego os dados resultantes da simulação apresentaram um claro indicativo de viabilidade inclusive para aplicações que requerem banda larga. A atual pesquisa difere de Carmona (2011), no teste geração de tráfego. Onde, o teste ocorre de forma separada da rede, para que com isso se obtenha a real vazão do PLC.

Outro importante trabalho foi o de Rosa (2012), em que a pesquisa visou estudar e desenvolver um sistema utilizando o PLC, para o monitoramento e supervisão de temperatura do rotor de um aro gerador. Os seus testes eram comparativos entre a tecnologia PLC e a rede LAN em ambientes residencial e industrial. Os dados obtidos por este estudo mostram resultados satisfatórios da tecnologia PLC em relação à rede LAN, confirmando a possibilidade do uso desta tecnologia em sistemas de monitoramento remoto, permitindo assim um aumento na confiabilidade e comodidade operacional. Este trabalho diferentemente da análise de Rosa (2012), fez uma coleta apenas do sensor *ping*, no teste de expansão de rede. Afim de que com os dados coletados, se obtenha a real latência de uma rede expandida com o PLC e também a perda de pacotes.

Por último, os parâmetros estatísticos dessa pesquisa, se embasaram no trabalho de Santos et al. (2010), onde é apresentada uma análise do tráfego VoIP e da transferência de dados utilizando a rede PLC como meio de transmissão. Esses parâmetros estatísticos tornam-

---

<sup>1</sup> É um serviço que combina voz, dados e multimídia sob um único canal de banda larga.

se necessários para dar mais confiabilidade aos resultados obtidos. De modo diferente de Santos (2010), esta pesquisa utilizou apenas os parâmetros estatísticos de, media aritmética, variância e desvio padrão. Não avaliando os dados através de cadeias de Markov.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A sessão que se inicia, apresenta os conceitos-chaves que se embasou essa pesquisa. Demonstrando cada um de forma clara e objetiva, extraindo apenas as suas características mais importantes para realização deste trabalho. Por último têm-se, a metodologia empregada nessa pesquisa.

#### **3.1 Redes de computadores**

Segundo Tanenbaum (2003, p.16) define-se redes de computadores ou redes locais como: redes privadas contidas em um único edifício com até alguns quilômetros de extensão, amplamente usadas para conectar computadores em escritórios e indústrias, compartilhando recursos como impressoras. As LANs têm três características que as distinguem de outros tipos de redes: (1) tamanho, (2) tecnologia de transmissão e (3) topologia.

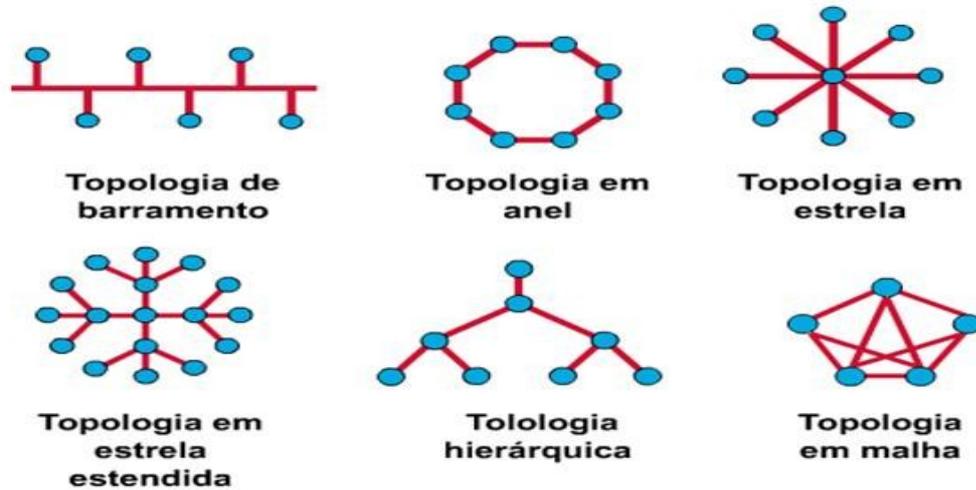
O tamanho das LANs é restrito, o que significa que o pior tempo de transmissão é limitado e conhecido com antecedência. Com isso, permite-se a utilização de determinados tipos de projetos que em outras circunstâncias não seriam possíveis, além de simplificar o gerenciamento da rede.

A tecnologia de transmissão das LANs quase sempre consiste em um cabo, ao qual todas as máquinas estão conectadas. As LANs tradicionais funcionam em velocidades de 10 Mbps a 100 Mbps, têm baixo retardo (microssegundos ou nanossegundos) e cometem pouquíssimos erros. As LANs mais modernas operam em até 10 Gbps.

As LANs admitem diversas topologias, dentre elas podemos citar as topologias em: barramento, anel, estrela, hierárquica e em malha, como são ilustradas na figura 1, logo abaixo.

Figura 1 - Topologias físicas

## Topologias físicas



Fonte: [http://www.al.es.gov.br/appdata/imagens\\_news/rede.htm](http://www.al.es.gov.br/appdata/imagens_news/rede.htm)

A topologia usada no local dos experimentos está configurada como topologia em estrela. Esta topologia assim como ilustrada na figura 1, utiliza um dispositivo central, onde todos os outros dispositivos da rede se conectam a ele. Esta topologia foi usada visto que, já estava implantada no laboratório.

Além dessas três características, existe uma linha de padronização para que essa comunicação seja feita. Segundo TechNet (2015), o TCP/IP é um modelo de referência em quatro camadas. Onde todos os protocolos que pertencem ao conjunto de protocolos TCP/IP estão localizados nas três camadas superiores desse modelo. Conforme ilustrado na tabela 1, onde se nota a o nome da camada (aplicação, transporte, *Internet* e interface de rede) e sua respectiva função. Cada camada do modelo TCP/IP corresponde a uma ou mais camadas do modelo de referência de sete camadas de interconexão dos sistemas abertos (OSI, em inglês), proposto pela *International Standards Organization* (ISO), modelo este que foi desenvolvido no final dos anos 1970, usado para descrever todas as funções necessárias de uma rede aberta, mas é usado atualmente apenas como modelo de referência para fins de comparação.

Tabela 1 - Modelo TCP/IP

Camada	Função
Aplicação	Define os protocolos de aplicativos TCP/IP e como os programas host estabelecem uma interface com os serviços de camada de transporte para usar a rede.
Transporte	Fornecer gerenciamento de sessão de comunicação entre computadores host. Define o nível de serviço e o status da conexão usada durante o transporte de dados.

Internet	Empacota dados em datagramas IP, que contêm informações de endereço de origem e de destino usadas para encaminhar datagramas entre hosts e redes. Executa o roteamento de datagramas IP.
Interface de rede	Especifica os detalhes de como os dados são enviados fisicamente pela rede, inclusive como os bits são assinalados eletricamente por dispositivos de hardware que estabelecem interface com um meio da rede, como cabo coaxial, fibra óptica ou fio de cobre de par trançado.

Fonte: TechNet ([https://technet.microsoft.com/pt-br/library/cc786900\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/pt-br/library/cc786900(v=ws.10).aspx))

Uma importante camada que é analisada aqui é a de transporte. Os dois principais protocolos da camada de transporte são: o UDP e o TCP. De acordo com a RFC<sup>2</sup> 768 (1980), Este Protocolo de Datagrama de Usuário (UDP) foi definido para tornar disponível um modo datagrama para a comunicação de computadores baseada em comutação de pacotes em um ambiente de um conjunto de redes de computadores interconectadas. Este protocolo assume que o Protocolo de Internet (IP) é utilizado como o protocolo base. Além disso, ele fornece um procedimento para que programas de aplicação enviem mensagens para outros programas com um mínimo de mecanismo de protocolo. O protocolo é orientado à transação, e entrega e proteção duplicada não são garantidos. Ou seja, os aplicativos que exigem entrega confiável e ordenada de fluxos de dados devem usar o Transmission Control Protocol (TCP).

Já a RFC 793 (1981) define o Protocolo de Controle de Transmissão (TCP), para ser utilizado como um protocolo altamente para comunicação *host-to-host*, entre os hosts e redes de comunicação, e em sistemas interligados de tais redes. Além disso, ele é orientado à conexão e oferece um serviço de entrega confiável, ao contrário do que ocorre com o UDP. Por essas características e pelas necessidades de uso do laboratório, o TCP foi escolhido para ser analisado nos testes de geração de tráfego.

O conceito de redes de computadores torna-se importante para este trabalho, pois, traz a fundamentação do que é rede, como ela é classificada e como comporta. Através destes conceitos foi possível identificar qual tipo de rede, topologia, camada e protocolos serão utilizados nesta pesquisa.

### 3.2 Expansão de rede

Dentro da segunda característica que define as redes de computadores, que é a tecnologia de transmissão, existem vários meios de trafegar dados e conseqüentemente de se expandir uma rede. Segundo Parente (2011) abaixo é listado as principais soluções para transmissão de dados.

<sup>2</sup> *Request fo Coments*, é um documento que descreve os padrões de cada protocolo da Internet

- Cabos ou rede óptica;
- Sistema *wireless*;
- Acesso por satélite.

Cada um desses meios tem suas respectivas características, benefícios e custos.

O uso dos cabos ou rede óptica traz como vantagem a velocidade e a baixa taxa de erros na transmissão, garantindo assim maior confiabilidade na entrega dos dados. Atualmente, os cabos ópticos são o meio de tráfego mais rápido e que comportam maior largura de banda. Mas, em contra partida, existe o alto custo de operação e demandam uma enorme logística na instalação.

O sistema *wireless* (IEEE 802.11) de operação *outdoor* é semelhante a rede de telefonia móvel (uso de frequências) em que aloca-se uma frequência para o usuário que se comunica com a estação mais próxima. A diferença do *wireless* para a rede celular é que os usuários são fixos, com isso tem-se um melhor desempenho nas taxas de transferências de dados. No *wireless outdoor*, ainda de acordo com Parente (2011), existe como vantagem a facilidade de instalação. Mas em contra partida, seu custo é alto, pois, tem-se a montagem de antenas tanto nas residências dos usuários como nas estações bases de transmissão.

Por último tem-se o uso de satélites, que de acordo com Parente (2011), conta com as mesmas desvantagens do sistema *wireless*, mas, com um alto custo de implantação e manutenção. Além disso, este meio apresenta vários problemas como latência alta, largura de banda restrita e baixa qualidade no serviço.

Além desses meios de transmissão, pode-se expandir uma rede, a partir de redes já existentes, através da tecnologia *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) que utilizar a rede de telefonia fixa, ou também através da tecnologia PLC que usa a rede de energia elétrica. Esta última que é o tema abordado nesse trabalho.

Segundo Yigit et. AL. (2014), o PLC oferece vantagens consideráveis quando comparado com qualquer linha fixa (tabela 2) ou tecnologias de acesso sem fio (tabela 3). Conforme consta nas tabelas 2 e 3 abaixo, que apresentam algumas tecnologias de transmissão, o seu custo, a facilidade de implantação, a taxa de transferência, a sua topologia, a mobilidade do usuário e por ultimo o seu alcance.

Tabela 2 - Comparativo de PLC com tecnologias de acesso fixo

<b>Tecnologia de acesso</b>	<b>Custo</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>Data rate</b>	<b>Topologia</b>	<b>Terminal</b>	<b>Alcance</b>
HFC	Baixo custo onde existe	Fácil onde existe TV	Varia de acordo com	Multiponto	Constante	40 km

	TV a cabo	cabo	o país			
xDSL	Baixo custo	Fácil	De 1.5 Mbps a 12 Mbps	Ponto a ponto	Constante	De 300 m a 6 km
FTTH	Caro	Difícil	1-10 Gps	Multiponto e Ponto a ponto	Constante	5.4 km
PLC	Fácil por causa da exploração dos fios existentes	Fácil	200 Mbps	Multiponto	Constante	3 km em média tensão. 200 m in baixa tensão

Fonte: (YIGIT et. al., 2014)

Nota-se através das tabelas 2, a comparação entre o PLC e outras tecnologias de acesso fixo. Nesta tabela, os valores de largura de banda estão defasados em relação aos atuais, como por exemplo, no padrão xDSL, hoje se tem taxas de transmissão maiores, no HFC tem-se até 1 Gbs e FTTH podendo chegar até a 40 Gbps. Mas ambas as tabelas são válidas para termos de comparação.

Tabela 3 - Comparativo de PLC com tecnologias de acesso sem fio

<b>Tecnologia de acesso</b>	<b>Custo</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>Data rate</b>	<b>Topologia</b>	<b>Terminal</b>	<b>Alcance</b>
Satélite	Caro	Simples	155 Mbps	Multiponto	Constante	De 1000 km a 36000 km
<i>Microwave</i>	Caro	Difícil	155 Mbps	Multiponto	Constante	5 km
LMDS	Caro	Difícil	10 Mbps	Multiponto	Constante	100 km
FSO	Caro	Difícil	2.5 Gbps	Multiponto	Constante	4 km
<i>Wi-Fi</i>	Baixo custo	Fácil	11, 54 Mbps dependendo do padrão	Multiponto	Móvel	100 m
3G and 4G	Caro	Fácil	1-10 Mbps	Multiponto	Móvel	Limitado a área de cobertura móvel
PLC	Baixo custo	Fácil	200 Mbps	Multiponto	Constante	Varia de acordo com baixa ou alta tensão

Fonte: (YIGIT et. al., 2014)

Na tabela 3, se nota a comparação do PLC com as tecnologias de acesso sem fio. Também esta tabela, conta com dados desatualizados, como visto no padrão *Wi-Fi* que hoje pode entregar dados até na casa dos Gbps. Através destas tabelas, têm-se os principais méritos comparativos em relação a outras tecnologias de acesso (a soma das tecnologias de acesso

fixo e sem fio, listadas nas tabelas 2 e 3), como indicados na tabela 4, que apresenta essas vantagens encontradas.

Tabela 4 - Comparativo de PLC com outras tecnologias de acesso

<b>Tecnologia PLC</b>	<b>Outras tecnologias de acesso</b>
Fornecer soluções onipresentes	Sem ubiquidade
Baixo custo	Alto custo
Menor impacto sobre o meio ambiente	Maior impacto sobre o meio ambiente (instalação de antenas, etc.)
Desenvolvimento de tecnologia sem padrões globais	Padrões globais já existentes
Mais escalável	Menos escalável
Mais interoperável	Menos interoperável

Fonte: (YIGIT et. al., 2014)

Após a contextualização de redes de computadores, outro importante conceito a ser levado em conta para a realização deste trabalho, é o de expansão de rede. Como foi apresentado, notou-se que existem outros meios de tráfego de dados e suas características, apresentando-se assim de forma comparativa com o PLC.

### 3.3 Rede elétrica

Para entender como funciona o *Power Line Communications*, é primordial entender como a rede elétrica funciona. Visto que um aproveita a infraestrutura do outro.

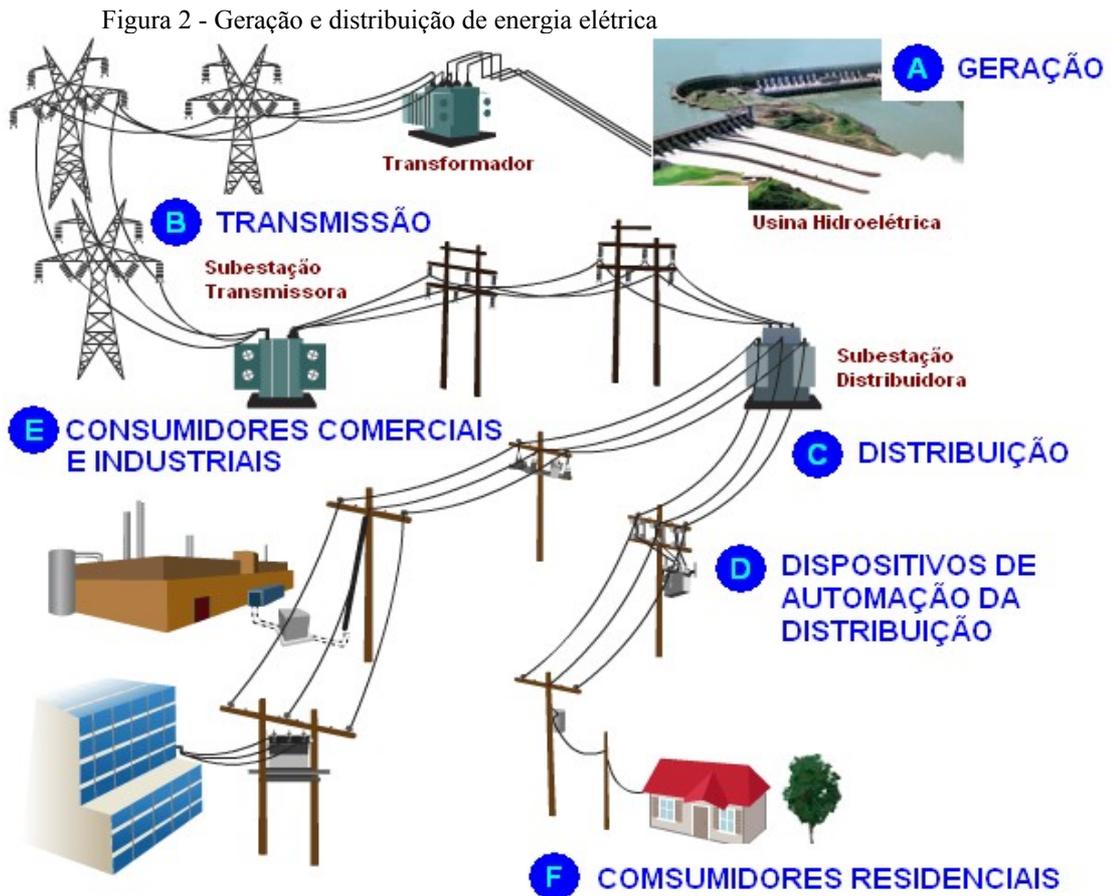
De acordo com Parente (2011) inicialmente a energia elétrica é gerada em um gerador elétrico (Figura 2.A), este pode ser alimentado por força hidráulica em uma hidrelétrica, um motor a diesel em uma termoeletrica, ou outras fontes geradoras de energia. O gerador elétrico rotativo gera energia trifásica alternada, ou seja, três tensões similares, com isso saem da fonte geradora quatro cabos, três de energia e um neutro.

Após esse processo a energia é levada a transformadores onde a tensão de entrada é amplificada podendo chegar até 765 mil volts. O motivo de tal processo é que, com isso evita-se perda de potência durante a transmissão por longos trajetos, onde os transformadores aumentam a tensão e baixam a corrente. As linhas de transmissão (Figura 2.B) encerram seu trajeto na subestação de energia, onde a tensão de saída é reduzida a patamares entre 1 kV e 69 kV para as linhas de média tensão (o valor comum é de 13,8 kV).

São essas linhas que levarão energia elétrica para as cidades (Figura 2.C). Para chegar ao usuário, ocorre uma nova redução da voltagem. A distribuidora aloca

transformadores para baixar a tensão ao valor a ser entregue às residências, na ordem de 120 V ou 220 V. Mais conhecidas como linhas de baixa tensão (Figura 2.D).

Por fim, na casa de cada usuário encontra-se um medidor que faz a aferição do consumo residencial mensal (Figura 2.F). Todo esse trajeto é apresentado na figura 1, que representa a geração e distribuição de energia elétrica.



Fonte: Rede Inteligente (<http://www.redeinteligente.com/>)

### 3.4 Power Line Communiation

Por fim, como último conceito chave desta pesquisa, temos agora uma contextualização sobre a tecnologia PLC, apresentando o seu funcionamento, tipos, relação com o *Smart Grid* e sua padronização.

#### 3.4.1 Funcionamento

O funcionamento dessa tecnologia é semelhante ao de DSL, que usa meio físico existente (linha telefônica) inserindo os dados de forma modulada. Além disso, segundo Hrasnica, Haidine e Lehnert (2004), o princípio básico de funcionamento do PLC está na frequência dos sinais gerados, onde o mesmo opera em MHz (1,7 MHz a 30 MHz), enquanto o sinal da energia elétrica em Hz (50 Hz a 50Hz), ou seja, ambos podem usar o mesmo meio sem que um interfira no outro.

Em resumo, a PLC trabalha convertendo um sinal de rede em rádio frequência e o injeta na rede elétrica através de uma frequência sobreposta. De acordo com Hrasnica, Haidine e Lehnert (2004), a rede elétrica é a maior rede instalada no planeta, com mais de três bilhões de usuários em todo o mundo, tais estruturas estão presentes em praticamente qualquer localidade. Por essa característica única e expressiva, têm-se notado um grande interesse dos setores públicos e privados na sua utilização para sanar o problema de dificuldade de acesso a provedores de *Internet*, visto que o grande problema de distribuição de *Internet* está na última milha, ou seja, no acesso aos usuários finais, onde os meios físicos são escassos. A fonte desse problema se deve ao fato das grandes companhias de telecomunicações terem focado seus investimentos em *backbones* (grandes redes de transporte de dados), levando acesso a várias cidades, mas pouco em *backhauled* (ligação dos *backbones* a redes menores), deixando assim os usuários finais sem muitas opções de acesso.

Observando esse cenário, o governo brasileiro tem demonstrado interesse no aproveitamento de infraestrutura elétrica para levar *Internet* a todas as classes sociais. Em 25 de agosto de 2009, a Agência Nacional de Energia Elétrica (2009), regulamentou o uso das redes elétricas de distribuição para fins de telecomunicações. O emprego da tecnologia possibilita novos usos para as redes sem que haja necessidade de expansão ou adequação da infraestrutura existente. O papel das empresas concessionárias de energia é o de aluguel dos fios para empresas de *Internet*. Com isso, a Agência prevê que a apuração da receita obtida será revertida em redução de tarifas de eletricidade, mas até o presente momento este benefício ainda não foi empregado.

No setor privado, algumas empresas concessionárias brasileiras já demonstraram interesse por essa tecnologia. De acordo com Costa (2009, p.32), em 2002, a CEMIG foi a primeira empresa a realizar experiências com o PLC. Segundo a empresa, o grande desafio existente ocorreu na influência da carga do sistema sobre a rede, levando assim a dificuldades em atingir velocidades razoáveis nos momentos de pico de consumo elétrico. Outra empresa que fez testes foi COPEL no ano de 2009. O projeto contou com 300 usuários, de diferentes necessidades de uso (comerciais e residenciais), englobando diversas classes sociais, para

representar os diversos tipos de usuários que demandam o serviço de acesso à *Internet*. Nos dois casos, mesmo com alguns problemas (como por exemplo, racionamento de energia e lentidão na rede em horários de pico de consumo), obtiveram um bom resultado no final dos testes.

Alguns desses problemas são em virtude da PLC ser uma tecnologia adaptada ao meio, ou seja, a rede elétrica não foi projetada para trafegar dados, e sim energia. Dessa forma, surgem alguns desafios em seu funcionamento tais como citados em Parente (2011, p.9):

- Ruído: como os cabos da rede elétrica não são blindados, eles são bastante suscetíveis ao ruído, provenientes de várias fontes, que muitas vezes atrapalham a transmissão de dados.
- Atenuação: é a diminuição da força do sinal que ocorre em função da impedância do meio em que esse se propaga.
- Efeito antena: por transportar altas frequências sem uma blindagem adequada, os cabos da linha de energia poderão comportar-se como antenas.
- Existência de transformadores: transformador é um empecilho para o tráfego de informação em alta velocidade via rede elétrica, pois ele atenua severamente os sinais de alta frequência, podendo ser encarado até mesmo como um circuito aberto.

### 3.4.2 Tipo de PLC

De acordo com Corrêa (2009), a tecnologia PLC está disponível em dois cenários: *outdoor* e *indoor*. O sistema *outdoor*, também conhecido como *Power Line Outdoor Communications* (PLOC), é composto pela rede elétrica que vai desde o transformador de distribuição (lado de baixa tensão) até o medidor de energia elétrica residencial. Dessa forma, esse é o sistema indicado para prover o acesso à *Internet* ao usuário final.

Por outro lado, o sistema *indoor*, também conhecido como *Power Line Indoor Communications* (PLIC), atua desde o medidor de energia até as tomadas do interior da residência do usuário. Com isso é possível construir uma rede local sem investimentos em uma nova infraestrutura, utilizando a tecnologia PLC. No mercado existe uma diversidade de dispositivos PLC que são ligados diretamente à tomada elétrica, implementando a construção

de uma *Local Area Network* (LAN) em pouquíssimo tempo, visto que os equipamentos são *Plug-and-Play*<sup>3</sup>.

Diante das tecnologias apresentadas até aqui, este trabalho pretende analisar a PLC *Indoor*, demonstrando através de testes reais a sua importância para expansão de uma rede local, os seus tipos de usos e os benefícios que os usuários poderão obter para um melhor desempenho de suas atividades. A escolha da topologia PLC *indoor* foi motivada pelo crescente interesse comercial mundial, como afirma Parente (2011, p.56), e por ser acessível ao estudo e experimentação.

### 3.4.3 PLC e a Smart Grid

De acordo com o portal web *News Room Cisco* (2015) em 26 de novembro de 2014, foi anunciada a parceria feita entre Cisco e a AES Eletropaulo, no projeto *Smart Grid*<sup>4</sup> para a cidade de Barueri-SP, com orçamento de 75 milhões de dólares financiado pela FINEP, visando a instalação de 62 mil medidores inteligentes, dos quais 2.000 estarão em comunidades de baixa renda, atingindo cerca de 250.000 pessoas.

A tecnologia *Smart Grid* vai permitir uma nova forma de gestão da rede com a automatização de operação e planejamento de capacidade de redes de energia da AES Eletropaulo, além de também permitir a identificação mais rápida e correção de falhas e interrupções na distribuição de energia. "Antes de o cliente chamar o centro de comando, a AES Eletropaulo já terá identificado o problema e enviado um SMS informando uma previsão de restauração para o fornecimento de energia", explica Maria Tereza Vellano, diretora da AES Eletropaulo.

Além disso, os clientes são capazes de monitorar o seu consumo via página *web* e, em uma segunda fase, permitirá até o pré-pagamento de contas. A solução proposta pela Cisco integra tecnologia de rede sem fio e PLC, utilizando as próprias linhas de energia para transmissão de dados. Com ambas as tecnologias trabalhando simultaneamente, será possível fornecer medição de consumo em tempo real. Além disso, este é o primeiro projeto desenvolvido por uma empresa de serviços públicos que já inclui interoperabilidade de múltiplos fornecedores.

*Smart Grid* é uma das principais tecnologias que estão sendo desenvolvidas no Centro de Inovação da Cisco, que foi inaugurado no Rio de Janeiro em agosto de 2013. Recentemente, em 04 de maio de 2015, foi anunciada uma nova parceria, agora entre a

---

<sup>3</sup> Conectar e usar, sem a necessidade de configuração.

<sup>4</sup> Rede elétrica inteligente é a aplicação de tecnologia da informação para o sistema elétrico de potência.

Eletrobrás e a Cisco, para o projeto *Energy+*, apoiado por um financiamento do Banco Mundial de 1,2 bilhão de reais, o projeto contemplará os estados do Amazonas, Acre, Piauí, Rondônia e Roraima. Tendo por objetivo a eficiência operacional e melhora na qualidade do serviço e controle de perdas. Também utilizará medidores inteligentes, e sua conclusão está prevista para 2017.

#### **3.4.4 Padronização**

Segundo Moraes et al. (2010), no dia 24 de julho de 2009, aconteceu uma reunião em Tóquio realizada pelo IEEE<sup>5</sup>, onde foi aprovado o projeto de norma IEEE 1901, como padrão de banda larga sobre redes de energia elétrica. Essa norma define duas camadas físicas diferentes, uma é baseada em modulação OFDM<sup>6</sup>, e a outra baseada em modulação *Wavelet*<sup>7</sup>, e ambas não se comunicam entre si.

A mais usada atualmente é a OFDM, que é derivada da tecnologia *HomePlug*, amplamente usada no mercado, a outra (*Wavelet*) é de restrita implantação, usada somente no Japão. "O padrão IEEE 1901 terá um impacto significativo nas tecnologias de comunicações em residências, empresas e indústrias, porque ele torna a transmissão de dados pela rede elétrica tão atraente quanto as redes sem fio em termos de velocidade, e oferece considerável vantagem por passar entre as paredes e outras estruturas que obstruem o sinal de radiofrequência", disse Judy Gorman, *managing director IEEE Standards Association*.

Além da padronização do IEEE, de acordo com Teleco (2009), existem outras regulamentações e normalizações pelo mundo, demonstrando que essa comunidade está em crescente desenvolvimento e é apoiada por várias instituições como é listado abaixo.

#### **Fóruns de PLC**

CEPCA: *Consumer Electronics Powerline Communication Alliance*

PLC-J: *High Speed PLC Promoters Alliance*

PTF: *Power Line Telecommunications Forum*

#### **Regulamentação e Normatização**

*Home Plug*

FCC: *Federal Communications Commission*

<sup>5</sup> Instituto de Engenheiros Eletricista e Eletrônicos, órgão que estabelece padrões para computadores e dispositivos.

<sup>6</sup> *Orthogonal frequency-division multiplexing*, multiplexação por divisão de frequência.

<sup>7</sup> É uma oscilação de onda com uma amplitude que começa em zero, aumenta, e depois diminui para zero.

Anatel

IEEE

CEN: *Comité Européen de Normalisation*

Cenelec: *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*

ETSI: *European Telecommunicatios Standards Institute*

IEC: *International Electrotechnical Commission*

### **Informação e Divulgação**

*BPL Today*

*CommsDesign*

CPL-France.org

*Etopia Media*

*Powerline Communications.net*

*Powerline Home Networking*

*Powerline-PLC.info*

### **Associações e Organizações**

AMRA

APTEL: Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações

CABA: *Continental Automated Buildings Assiciation*

*Internet Home Alliance*

NCTA: *National Cable & Telecommunicatios Association*

OSGi *Alliance*

*Planet*

6POWER

UPnP Forum

UTC: *United Telecom Council*

### **Eventos**

*Powerline*

*International Symposium on Power Line Communications*

IPLC

*Broadband Over Powerline*

Segundo Yigit (2014), por conta desse desenvolvimento, foram criados vários padrões como apresenta a tabela 5 abaixo, onde demonstra o padrão e seu propósito.

Tabela 5 - Uma visão geral dos padrões PLC e suas funcionalidades

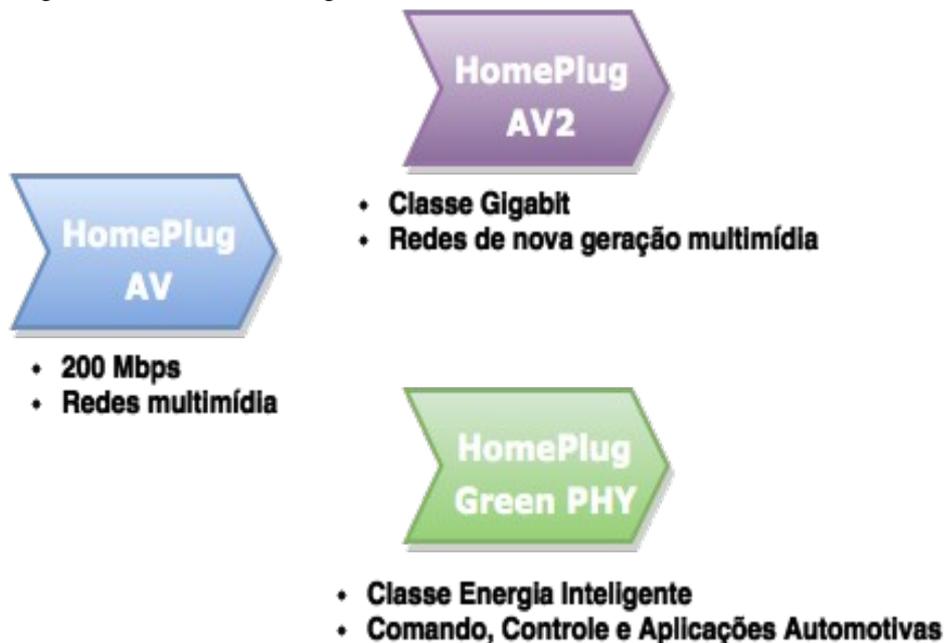
<b>Padrões PLC</b>	<b>Propósito</b>
<i>HomePlug AV</i>	Distribuição de conteúdo de áudio através da casa
<i>HomePlug AV 2</i>	Transferência rápida de dados
HD-PLC	Manuseio de maiores taxas de dados
IEEE P.1901	Ambiente doméstico, IPTV, jogos.
ITU-T G.9960	Distribuição de dados de áudio, vídeo através da rede doméstica, sobre as redes inteligentes e conectadas em veículos elétricos.
CELENEC EN 50065	Manipulação de redes de alta velocidade para HDTV
ETSI	Impedir a interferência de ruído
UPA	Evitar interferências; aumentando a velocidade de comunicação.
IEEE 1901 Broadband Power Lines	Fornecimento de comunicação de alta velocidade.

Fonte: (YIGIT et. al., 2014)

Diante de vários padrões, segundo (HOMEPLUG, 2013) um se destacou em relação aos demais. Introduzido em 2010, *HomePlug Green PHY* alavancou de vez o padrão *HomePlug AV*, proporcionando uma opção de rede de baixo custo com rendimento otimizado para eficiência energética e a implementação de uma ampla gama de aplicações como *Smart Grid*.

Atualmente, o padrão *HomePlug* se encontra na versão AV2, desenvolvido para fornecer tanto o rendimento e cobertura necessária para suportar a escala de aplicações multimídia da próxima geração. Abaixo, na figura 3, é apresentado as três versões do padrão *HomePlug*. Pode-se notar as características de cada versão, a *HomePlug Green PHY* é voltado a aplicação de energia inteligente e automação, a *HomePlug AV* conta com uma largura de banda de 200Mbps e é voltado a redes multimídias, por último têm o padrão *HomePlug AV2* com largura de banda na classe dos Gigabits e é desenvolvido visando as novas redes multimídias. Além dessas características esses três padrões são totalmente interoperáveis entre si. A figura 3 exhibe esses três padrões e algumas de suas características.

Figura 3 - Padrões HomePlug



Fonte: *HomePlug* (<http://www.homeplug.org/>), editado pelo autor

De acordo com *HomePlug* (2015), o padrão *HomePlug* hoje está presente em 95% da base *powerline* instalada mundialmente, com mais de 125 milhões de dispositivos no mercado. O *HomePlug* é utilizado diariamente por consumidores e prestadores de serviços para melhorar o desempenho da rede doméstica, enquanto causa também uma melhora na expansão da cobertura e mobilidade *Wi-Fi*.

### 3.5 Metodologia

A metodologia deste trabalho está dividida em duas abordagens, uma qualitativa e a outra quantitativa.

Segundo (PORTAL EDUCAÇÃO, 2013) a pesquisa qualitativa é multimetodológica e está sempre se preocupando com a qualidade, ou seja, com os significados e valores. Por outro lado, a pesquisa quantitativa leva em consideração a objetividade, ou seja, os resultados podem ser quantificados por meio de análise dos dados e a utilização de ferramentas estatísticas.

Além disso, foram usadas duas análises em conjunto com essas abordagens.

Como visto em Carmona (2011, p 33) é importante definir dois fatores de análise: Qualidade de Serviço (QoS, *Quality of Service*, em inglês) que visa as métricas de avaliação

de desempenho baseadas em informações da rede, e Qualidade de Experiência (QoE, *Quality of Experience*, em inglês) que é a perspectiva do usuário da aplicação.

Em qualidade de serviço (QoS), sempre que uma nova rede é planejada, uma das principais dificuldades encontradas é o atendimento das características de desempenho almejadas. Uma vez que o projeto está implementado, pode ser essencial a realização de testes probatórios de desempenho. Os testes de desempenho são executados com a injeção de um determinado tráfego na rede e, por consequência, a análise da resposta da rede a este tráfego. Oferecer níveis aceitáveis de QoS é um fator importante, principalmente quando os recursos de rede são escassos.

Segundo Takashi et al. (2008) qualidade de experiência (QoE) é a técnica que tem por objetivo avaliar a qualidade perceptível do usuário, a qual pode ser realizada através de três tipos de abordagem: Objetiva, Subjetiva e Híbrida. Diferente das de QoS, que se baseiam apenas em parâmetros da rede, métricas de QoE são usadas para mensurar como o usuário percebe a aplicação. A subjetiva utiliza a da na opinião de usuários que pode incluir, emoções, serviços e experiência. Enquanto a objetiva tenta modelar a percepção humana através de algoritmos baseados em informações da rede, transporte e fatores de aplicação.

A abordagem quantitativa foi usada no teste de geração de tráfego entre dois computadores, e no teste de expansão de rede do laboratório, onde foram analisadas métricas de qualidade de serviço (QoS). A abordagem qualitativa, é utilizada no questionário respondido pelos usuários residências que fizeram uso da tecnologia PLC, analisando a qualidade de experiência (QoE).

Os testes de QoS, se deram em forma de uma pesquisa experimental que, segundo (GIL, 2009) consiste em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas, observando os resultados produzidos.

## 4 PROCEDIMENTOS

Na sessão que se inicia, são listados os procedimentos utilizados por esta pesquisa. Sendo eles, as métricas, fórmulas estatísticas, ferramentas e equipamentos.

### 4.1 Métricas

Visando apresentar o PLC como uma alternativa a solucionar o problema do laboratório, e com uso deste, ter uma visão controlada da experimentação. As seguintes métricas foram avaliadas nesta pesquisa visando o QoS: Vazão, latência e perdas de pacote. Estas métricas foram ordenadas de acordo com os testes submetidos. No teste de geração de tráfego foi analisada a vazão, no teste de expansão de rede, foi analisada a latência e a perda de pacotes. Estas métricas foram escolhidas de acordo com os trabalhos relacionados, citados na sessão 2.5. Abaixo é apresentada a contextualização de cada métrica.

#### 4.1.1 Vazão

Vazão foi escolhida para este trabalho, pois é uma importante medida de desempenho em redes de computadores, pois através dela é possível saber a real capacidade de transmissão da tecnologia PLC *indoor*. Segundo Kurose e Ross (2010), para definir vazão considere a transferência de um arquivo grande do Hospedeiro A para o Hospedeiro B através de uma rede de computadores. A vazão instantânea a qualquer momento é a taxa (em bits/s) em que o Hospedeiro B está recebendo o arquivo. Se o arquivo consistir em  $F$  bits e a transferência levar  $T$  segundos para o Hospedeiro B receber todos os  $F$  bits, então a vazão média da transferência do arquivo é  $F/T$  bits/s.

A vazão neste experimento é medida através da ferramenta IPERF, apresentada na sessão 2.7.

#### 4.1.2 Latência

Segundo Cheshire (1996), latência é o atraso de tempo entre o momento que um evento iniciou e o momento que os efeitos iniciam. A palavra deriva do fato que durante o período de latência, os efeitos do evento estão latentes, ou seja, potenciais ou não ainda

observados. O significado de latência pode variar dependendo do domínio do problema. Em redes de computadores a latência pode ser medida através do comando *ping*.

*Ping* é um utilitário que usa o protocolo ICMP<sup>9</sup> para monitorar a conectividade entre equipamentos. Seu funcionamento consiste no envio de pacotes para o equipamento de destino e na “escuta” das respostas. Se o equipamento de destino estiver ativo, uma “resposta” é devolvida ao computador solicitante. Ele também exibe o endereço IP<sup>10</sup> do equipamento que respondeu, assim como o tempo que levou para transmiti-la de volta, sendo que a resposta deste teste é obtida em milissegundos. Semelhante a perda de pacote, de acordo com quanto menor for o resultado obtido por este parâmetro, subentende-se que melhor é a rede. (SILVA, 2002 apud ROSA, 2012, p. 68). Por essas características o *ping* foi escolhido para medir tanto a latência como a perda de pacotes da rede no momento do experimento.

#### 4.1.3 Perda de pacotes

Outra importante métrica é a perda de pacote, esta foi escolhida para se ter uma visão da confiabilidade da rede. Ainda segundo Kurose e Ross (2010), do ponto de vista de um sistema final, uma perda de pacote é vista como um pacote que foi transmitido para o núcleo da rede, mas sem nunca ter emergido dele no destino. A fração de pacotes perdidos aumenta com o aumento da intensidade de tráfego. De acordo com Macedo (2013), quando menor a perda, melhor a conexão. Os motivos que podem ocasionar uma elevada Taxa de Perda de Pacotes (TPP) podem ser a presença de obstáculos entre os nós, fragmentações na topologia da rede e a alta mobilidade dos nós. A definição de TPP é dada por:

$$TPP = \frac{\text{Número de pacotes perdidos}}{\text{Número total de pacotes transmitidos}}$$

## 4.2 Fórmulas estatísticas

Seguindo o trabalho relacionado de Santos et al. (2010), em todos os testes foram feitos os cálculos de média aritmética, variância, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo obtidos. Com esses cálculos é possível ter uma real noção dos dados analisados e dar maior

<sup>9</sup> *Internet Control Message Protocol* é utilizado para fornecer relatórios de erros à fonte original.

<sup>10</sup> *Internet Protocol*, é um protocolo de comunicação usado entre todas as máquinas em rede para encaminhamento dos dados.

confiabilidade a pesquisa. Segundo o portal Mundo Educação (2015) os cálculos e suas fórmulas são definidos a baixo.

#### 4.2.1 Média Aritmética

Média aritmética é a soma dos termos pelo número total de termos. Dada pela seguinte fórmula:

$$Me = \frac{S}{n}$$

Onde, Me: média, S: soma dos termos, n: número de termos.

#### 4.2.2 Variância

A variância é uma medida de dispersão que mostra quão distantes os valores estão da média, como nesses testes estamos analisando todos os valores de cada teste, e não apenas uma “amostra”, trata-se do cálculo da variância populacional (var), que é obtido através da soma dos quadrados da diferença entre cada valor e a média aritmética, dividida pela quantidade de elementos observados, como apresenta o exemplo na fórmula abaixo:

$$var = \frac{(teste - média aritmética)^2 + (teste2 - média aritmética)^2 + \dots + (testeN - média aritmética)^2}{quantidade de testes N}$$

Quanto maior for a variância, mais distantes da média estarão os valores, e quanto menor for a variância, mais próximos os valores estarão da média, ou seja, quanto mais próximo do valor zero, melhor. Em algumas situações, apenas o cálculo da variância pode não ser suficiente, pois essa é uma medida de dispersão muito influenciada por valores que estão muito distantes da média. Além disso, o fato de a variância ser calculada “ao quadrado” causa certa camuflagem dos valores, dificultando sua interpretação. Uma alternativa para solucionar esse problema é o desvio padrão, outra medida de dispersão.

#### 4.2.3 Desvio Padrão

O desvio padrão é simplesmente o resultado positivo da raiz quadrada da variância. Na prática, o desvio padrão indica qual seria o “erro” médio se quiséssemos substituir os valores coletados pelo valor da média.

#### 4.2.4 Intervalo de confiança

De acordo com o Portal *Action* (2015), intervalo de confiança (IC) é um intervalo estimado de um parâmetro de interesse de uma população. São usados para indicar a confiabilidade de uma estimativa. Por exemplo, um IC pode ser usado para descrever o quanto os resultados de uma pesquisa são confiáveis. Sendo todas as estimativas iguais, uma pesquisa que resulte num IC pequeno é mais confiável do que uma que resulte num IC maior.

Neste trabalho foi utilizado o cálculo de intervalo de confiança para média, com nível de 95%, onde segundo o Portal *Action* (2015), esse cálculo é obtido por meio de uma população com distribuição normal, com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$  conhecida,  $X$  é a amostra e  $Z$  distribuição padrão. Com isso, o intervalo de confiança da média é dado por:

$$IC(\mu, 1 - \alpha) = \left( \bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right).$$

### 4.3 Ferramentas

Após a escolha das métricas e das fórmulas estatísticas, apresentam-se agora as ferramentas que foram utilizadas para execução e aferição dos testes propostos.

#### 4.3.1 IPERF

Segundo (SILVA, ALVES, 2014) o IPERF é uma ferramenta que reúne em uma única aplicação o relatório da análise de várias métricas, como a capacidade máxima fim a fim em nível de transporte e a perda de pacotes. A sua utilização simplifica a análise de problemas de rede por parte dos administradores de redes. Em se tratando de ferramentas de medição ativa de redes, é uma ferramenta amplamente utilizada para medir a vazão e a qualidade de um enlace de rede.

O seu funcionamento emprega um modelo cliente/servidor, em que o servidor atende às solicitações de testes e o cliente inicia as sessões de testes. Ele está disponível como *open source*<sup>8</sup>, compilável ou binário executável para diversas plataformas incluindo *Windows*, *Linux*, *Solaris*, *Mac OS*, *OpenBSD* e *FreeBSD*. Os testes de desempenho realizados pelo IPERF podem ser utilizados para validar uma rede, tanto cabeada quanto sem fio. Os testes podem ser utilizados, por exemplo, para identificar o mau desempenho de uma rede ou até mesmo para desqualificar a porta de um *switch* ou roteador defeituoso. Por padrão, o protocolo utilizado pelos testes com IPERF é o TCP.

Por ser um software de código aberto, de fácil manuseio e entendimento, e que atende bem as necessidades de análise das métricas, o IPERF foi escolhido como ferramenta para análise nesse documento.

Assim como em (CARMONA, 2011) neste trabalho o IPERF foi usado no cenário de geração de tráfego, instalado em dois computadores e configurado para gerar tráfego de dados entre as duas interfaces de rede, usando o protocolo TCP. Com esta ferramenta foi possível analisar a vazão da rede no momento do experimento.

#### 4.3.2 PRTG

Outra ferramenta utilizada nesta pesquisa foi o PRTG (logomarca na figura 4), que roda no sistema operacional *Windows* dentro da própria rede coletando estatísticas das máquinas, *softwares* e dispositivos selecionados. Além disso, é possível administrar o sistema, instalar sensores, configurar relatórios e avaliar os resultados obtidos. Em seguida, o usuário consegue gerar relatórios sobre o uso do sistema e, ao mesmo tempo, oferece acesso a gráficos e tabelas com dados em tempo real (PRTG, 2015). Do mesmo modo que em (ROSA, 2012) o PRTG foi utilizado para medir a latência da rede e perda de pacotes. Este *software* é pago, mas foi instalada uma versão gratuita que dá direito a monitorar até 100 sensores de uma rede. O PRTG foi instalado em *notebook* e passou dois dias monitorando a rede, no cenário de expansão de rede.

Figura 4 - PRTG

---

<sup>8</sup> Código aberto. Isso diz respeito ao código-fonte de um software, que pode ser adaptado para diferentes fins.



Fonte: Paessler ([www.br.paessler.com](http://www.br.paessler.com))

#### 4.4 Equipamentos

Os seguintes equipamentos foram utilizados para execução dos testes propostos.

##### 4.4.1 Adaptador PLC

Analisando os tipos de PLC no mercado e o ambiente de testes, optou-se pelo padrão *HomePlug AV*. Foi selecionado um equipamento da marca TP-LINK, modelo: TL-PA2010KIT<sup>9</sup>, visto que este produto atende às necessidades (Uso constante de *Internet*) e é acessível financeiramente ao estudo (R\$ 140,00 reais). Abaixo seguem algumas de suas características.

Como no PLC nenhuma fiação adicional é necessária, os usuários podem simplesmente conectar os adaptadores em tomadas elétricas existentes e imediatamente estabelecer uma infraestrutura de rede. De acordo com TP-Link (2015), o equipamento pode atingir altas taxas de transferência de dados de até 200 Mbps, e um alcance de até 300 metros, além de utilizar os seguintes protocolos: *HomePlug AV*, IEEE802.3, IEEE802.3.u. Com isso, os usuários podem executar aplicações que exigem alta largura de banda ou baixa latência como: *streaming* de vídeo HD e jogos *on-line*. A figura 12 exhibe este modelo utilizado na pesquisa.

---

<sup>9</sup> <http://www.tp-link.com/en/products/details/?model=TL-PA2010kit>

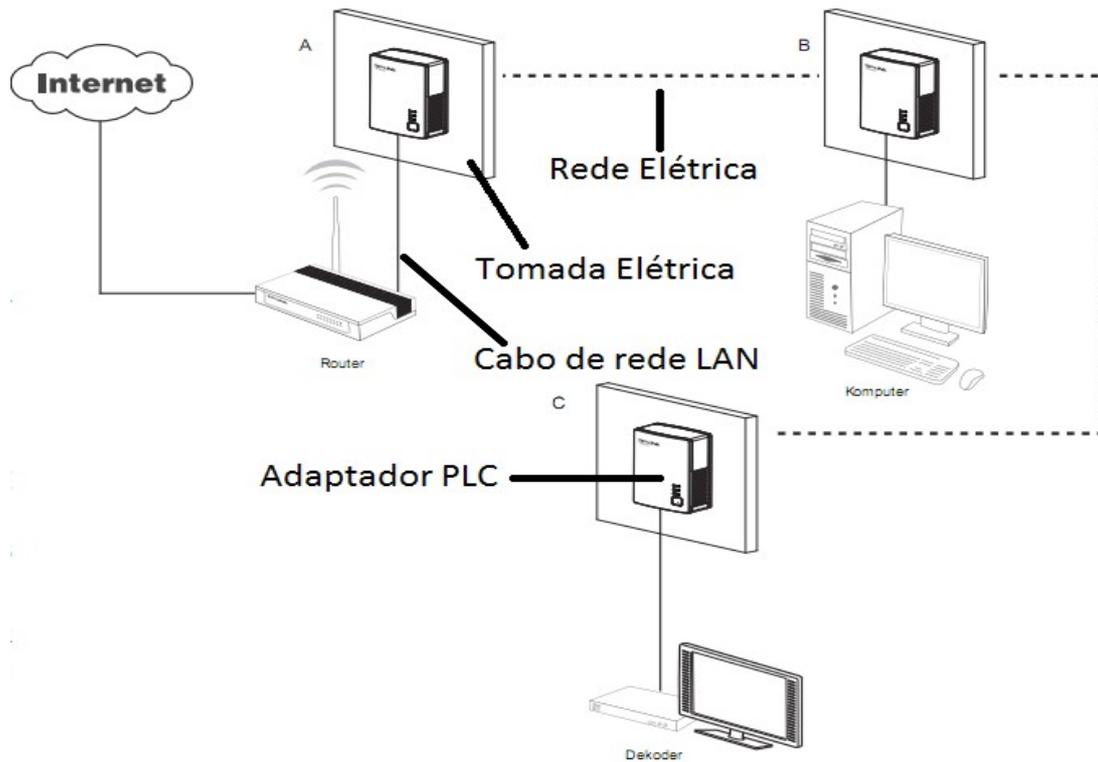
Figura 5 - Adaptador PLC TL-PA2010kit



Fonte: TP-LINK

Segundo (TP-LINK, 2014), para seu funcionamento basta plugar o adaptador PLC em uma tomada elétrica e a um cabo de rede, este cabo pode ser de uma LAN existente, ou até mesmo de um modem ADSL. Feito isso o equipamento irá facilmente expandir a rede através da rede elétrica existente. Com isso, em qualquer local de uma casa ou prédio que contenha uma tomada, esta será um ponto de acesso. Na figura 13 é apresentado um exemplo de funcionamento do adaptador, expandindo uma rede oriunda de um roteador e conectando um computador e um decodificador de televisão.

Figura 6 - Exemplo de funcionamento do adaptador TL-PA2010kit



Fonte: O autor

#### 4.4.2 Computadores

No teste de geração de tráfego foram utilizados dois computadores do laboratório, suas configurações são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6- Configuração dos computadores

Configuração	
<b>Marca</b>	Positivo Proinfo Urbano
<b>Processador</b>	Intel Celeron 430 CPU 1.80GHz
<b>Memória</b>	1 GB
<b>Disco Rígido</b>	80 GB
<b>Placa de rede</b>	Fast Ethernet
<b>Sistema Operacional</b>	Ubuntu 12.04 LTS 32 bits

Fonte: O autor

No teste de expansão de rede, foi utilizado um *notebook* para analisar as métricas escolhidas para esse teste. A tabela 7 apresenta suas configurações.

Tabela 7 - Configuração do notebook

<b>Configuração</b>	
<b>Marca</b>	Sony Vaio
<b>Processador</b>	Intel Core i5 3337U CPU 1.80GHz x 4
<b>Memória</b>	8 GB
<b>Disco Rígido</b>	750 GB
<b>Placa de rede</b>	Gigabit Ethernet
<b>Sistema Operacional</b>	Ubuntu 14.04 LTS 32 bits

Fonte: O autor

#### 4.4.3 Cabos

Os cabos de rede utilizados para conectar os computadores aos adaptadores PLC foram cabos da marca *Nexans* (Disponíveis no laboratório), sendo escolhido o modelo: NEXANS 24AWGBGMX 75C Cat. 5e. Este cabo foi selecionado, visto que utiliza o mesmo protocolo IEEE 802.3u que padrão *HomePlug AV*.

## 5 ESTUDO DE CASO

Dando continuidade à pesquisa, a presente sessão apresenta o ambiente de testes e os cenários dessa pesquisa.

### 5.1 Ambiente de Testes

Essa pesquisa avaliou o funcionamento do PLC através de testes realizados no laboratório de informática da Escola de Ensino Fundamental Coronel Virgílio Távora, sediada na cidade de Quixeramobim, Ceará. Laboratório este utilizado para pesquisas escolares por meio da *Internet*<sup>10</sup>, tanto por alunos como por professores. Atualmente o laboratório conta com uma deficiência de conectividade relacionada a problemas de cabeamento estruturado (cabos e tomadas de rede danificadas), na figura 7 se nota esse problema.

<sup>10</sup> Rede mundial de computadores

Figura 7 - Problema de cabeamento estruturado



Fonte: O autor

Além deste problema, a escola, hoje está conectada à rede do projeto Cidades Digitais<sup>11</sup>, projeto este que tem por objetivo, modernizar a gestão, ampliar o acesso aos serviços públicos e promover o desenvolvimento dos municípios brasileiros por meio da tecnologia (MINICOM, 2015).

Figura 8 - Rack do DIO

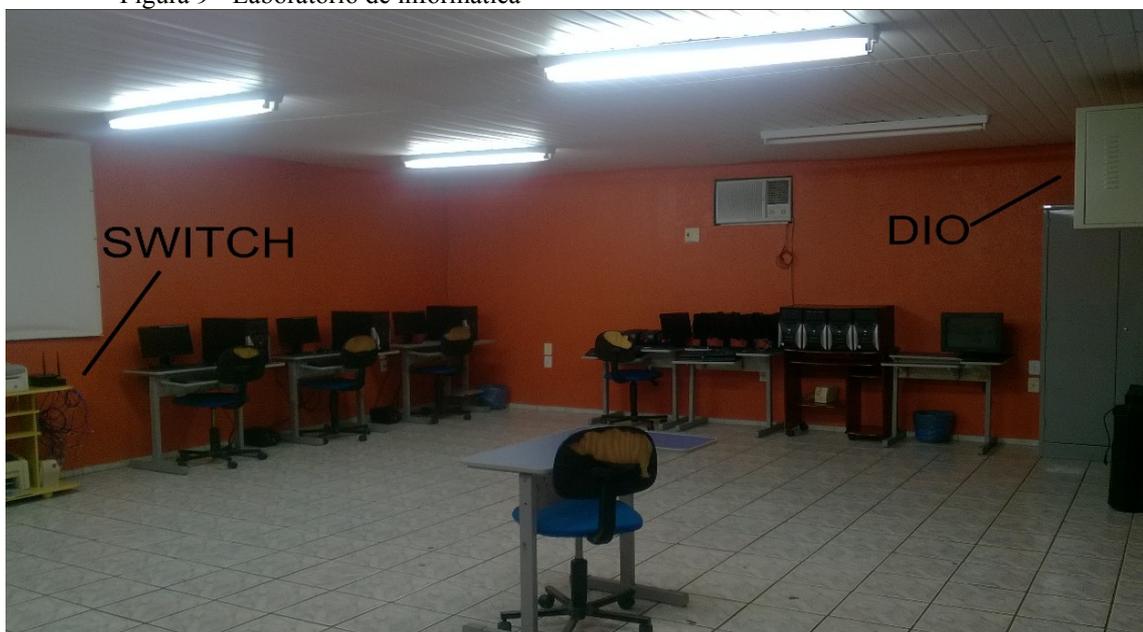


<sup>11</sup> São projetos governamentais, privados e/ou da sociedade civil que visam criar uma representação na web de um determinado lugar.

Fonte: O autor

Esta conexão é feita através de um DIO (Distribuidor Interno Óptico) localizado em um *rack*, junto com outros equipamentos, como um *switch* e um *nobreak* exibidos na figura 8. O *rack* está localizado no laboratório de informática da escola, como ilustrado na figura 9, onde estão presentes a maioria dos ativos do laboratório. Nota-se também que o DIO está instalado no canto direito da imagem e o *switch* do laboratório (equipamento responsável pela distribuição de rede para o laboratório, figura 7) está instalado no canto esquerdo da imagem, ou seja, ambos estão separados e sem conexão.

Figura 9 - Laboratório de informática



Fonte: O autor

Na figura 10 abaixo, é exibido o switch da escola, junto com outros ativos de redes (roteador *Wi-Fi* e cabeamento).

Figura 10 - Switch do laboratório



Fonte: O autor

A solução mais plausível para resolução deste problema de conexão, seria passagem de novos cabos ou manutenção do cabeamento atual, mas como isso ainda não ocorreu, uma alternativa viável seria a implantação do PLC *indoor*, visto que o mesmo aproveita os cabos elétricos já instalados.

Para saber a real infraestrutura do local, faz-se necessário nesta pesquisa apresentar os dispositivos eletrônicos presentes no momento dos testes, para isso a tabela 8 apresenta estes dispositivos.

Tabela 8 - Dispositivos eletrônicos do laboratório de informática

<b>Equipamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Voltagem</b>	<b>Quantidade</b>
Distribuidor Interno Óptico	PETCOM DIO Master	115v-220v	1
<i>Switch</i>	DATACOM DM4100	115v-220v	1
<i>Nobreak</i>	SPW1200	115v-220v	1
Computador com monitor	Positivo Proinfo	115v-220v	5
Módulo de energia	Microsol-MIE-G2	220v	3
<i>Switch</i>	D-Link DES-1016D	115v-220v	1
Roteador <i>Wi-Fi</i>	D-Link DIR-615	115v-220v	1
Ar Condicionado	Eletroclux-CF18000	220v	1
Lâmpada	Florescente	220v	12

Fonte: O autor

## 5.2 Cenários

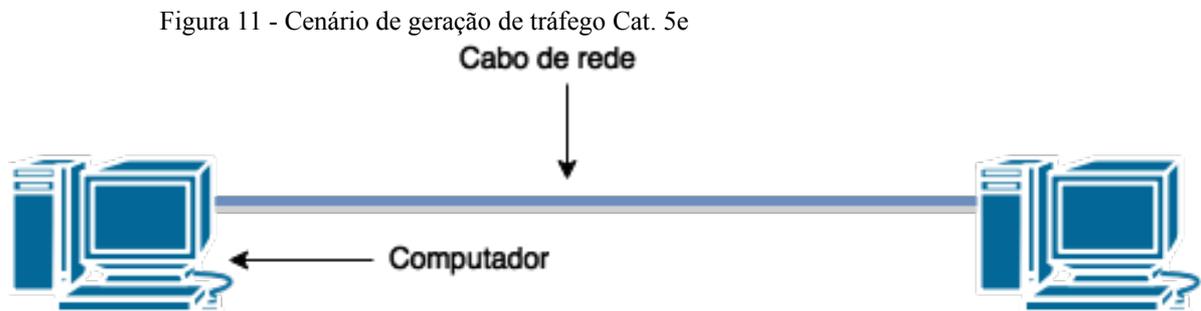
Após apresentar o laboratório, o próximo passo é a elaboração dos cenários de testes. Visando atender as necessidades apresentadas na seção anterior, os testes foram divididos em três cenários: geração de tráfego, expansão de rede e uso residencial.

### 5.2.1 Teste de geração de tráfego

Assim como realizado em (ROSA, 2012), o presente estudo fez uma comparação entre o padrão de rede *Ethernet Cat. 5e* e o padrão *HomePlug AV*. Essa comparação se torna necessária para se ter um embasamento e descobrir se o PLC é bom ou não em relação ao cabeamento tradicional.

Para atender as necessidades da seção anterior, é necessário antes de iniciar o processo de expansão de rede, fazer testes com os adaptadores PLC a fim de aferir a real vazão deste aparelho. Para isso, o primeiro teste realizado foi o de geração de tráfego, que foi

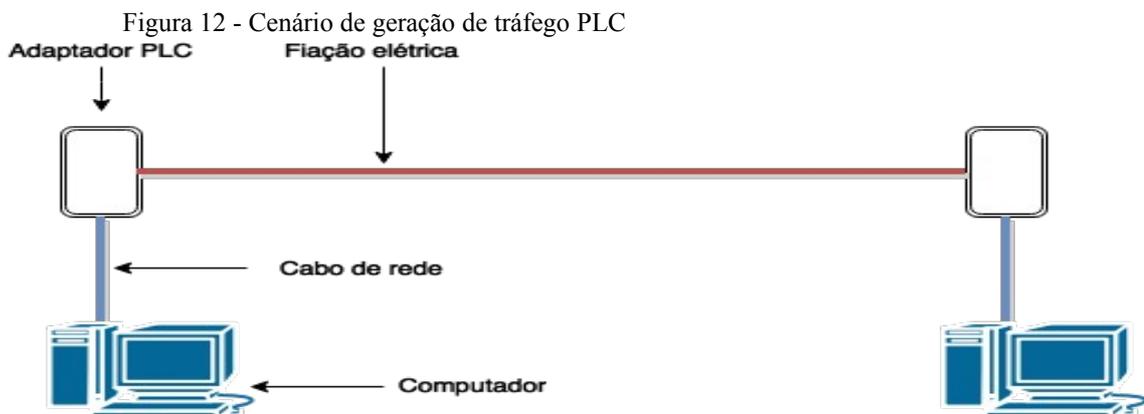
estruturado de acordo com o trabalho realizado por Carmona (2011), que analisou dois computadores, em que estes se encarregaram da função de serem geradores de tráfego TCP na rede através da ferramenta IPERF<sup>12</sup>. A figura 11 ilustra esse teste, onde se notam dois computadores interligados por um cabo de rede padrão *Ethernet Cat. 5e*



Fonte: O autor

A configuração do cenário de geração de tráfego com o padrão *Ethernet Cat. 5e*, se dá da seguinte forma: Dois computadores estão conectados, cada um por um cabo de rede padrão *Ethernet Cat. 5e* de dois metros de comprimento (no primeiro teste), e de cinco metros no segundo teste, transmitindo dados um para o outro, em uma topologia ponto a ponto.

Logo após esse teste, o mesmo cenário foi repetido, mas agora analisando o PLC, este teste tem por finalidade analisar a real vazão do padrão *HomePlug AV*, afim que com essa informação, possa-se saber se essa vazão atende a necessidade de uso do laboratório. A figura 12 ilustra esse cenário, onde se notam dois computadores interconectados através de adaptadores PLC, em uma topologia ponto a ponto.



Fonte: O autor

<sup>12</sup> <http://www.iperf.fr>

A configuração do cenário de geração de tráfego com PLC se dá da seguinte forma:

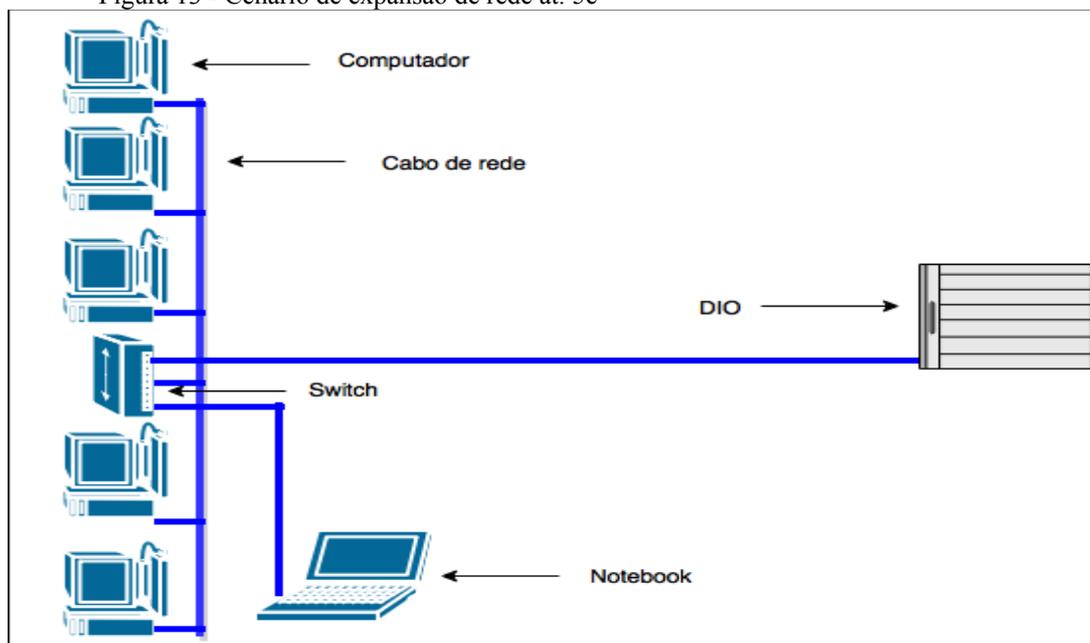
- Dois computadores estão conectados, cada um por um cabo de rede padrão *Ethernet CAT-5e* de dois metros de comprimento; Cada cabo de rede está conectado a um adaptador PLC;
- Cada adaptador PLC está ligado à rede elétrica a uma distância um do outro de dois metros (no primeiro teste), e de cinco metros no segundo teste, transmitindo os dados pela tomada.

### 5.2.2 Teste de Expansão de rede

O segundo teste apresentado é o de expansão de rede, embasado no trabalho de Rosa (2012), em que utilizou-se da ferramenta PRTG<sup>13</sup> para medir a latência da rede com o PLC *indoor* em execução.

Este teste conecta o DIO ao *switch* do laboratório, e visa observar o comportamento do PLC na entrega de pacotes de uma ponta a outra deste enlace. Sendo utilizado inicialmente (como no cenário anterior) o padrão Ethernet Cat. 5e. Através da figura 13, percebem-se neste cenário os ativos do laboratório juntamente com um notebook e suas conexões. Abaixo são apresentadas as configurações dos testes.

Figura 13 - Cenário de expansão de rede at. 5e



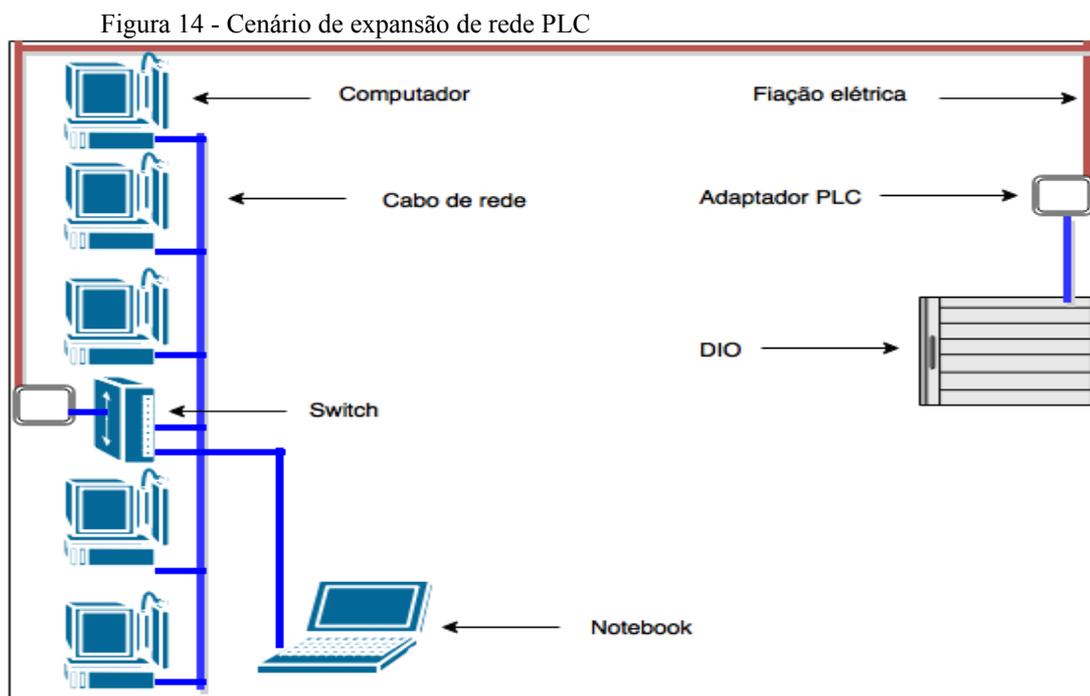
Fonte: O autor

<sup>13</sup> <https://www.br.paessler.com/prtg>

A configuração do experimento de expansão de rede com o padrão Ethernet Cat. 5e, estar configurado da seguinte forma:

- Cada computador é conectado via cabo de rede padrão *Ethernet* Cat. 5e ao *switch* do laboratório;
- O *switch* se conecta via cabo de rede padrão *Ethernet* Cat. 5e ao DIO, e este fornece conectividade e *internet*. Estes são os dois cenários de teste visando ao análise de QoS.

Da mesma forma que no cenário anterior, o mesmo cenário foi repetido, mas agora analisando o PLC, este teste tem por finalidade analisar a real latência do padrão *HomePlug* AV, afim que com essa informação, possa-se saber se essa latência é aceitável ou não para o uso do laboratório. A figura 14 ilustra o mesmo cenário, agora com a presença dos adaptadores PLC.



Fonte: O autor

Agora é apresentada a configuração do experimento de expansão de rede com PLC, configurado da seguinte forma:

- Cada computador é conectado via cabo de rede padrão *Ethernet* Cat. 5e ao *switch* do laboratório;
- O *switch* se conecta via cabo de rede ao adaptador PLC;

- O adaptador PLC é conectado a uma tomada elétrica e envia dados ao outro adaptador PLC;
- Por último um adaptador se conecta ao DIO, e este fornece conectividade e *internet*. Estes são os dois cenários de teste visando ao análise de QoS, nas próximas sessões é apresentado as ferramentas e equipamentos utilizados.

### 5.2.3 Uso residencial

Por fim, realizou-se o teste de uso do PLC em ambientes residenciais, inspirado também no trabalho de Carmona (2011), onde avalia o QoE através das experiências dos usuários com essa tecnologia. Nesta pesquisa, esta análise é feita a partir de um questionário *on-line* respondido pelos usuários, onde avaliaram a tecnologia a partir do seu uso em sua residência. Neste cenário não houve controle algum de configuração ou de uso, deixando o usuário livre para utilizar a tecnologia PLC ao seu modo. Encerram-se aqui os cenários de testes, nas próximas sessões são apresentados as métricas, ferramentas e equipamentos utilizados.

## 6 TESTES

Nesta sessão, são apresentados dos resultados obtidos nos testes. Exibindo os dados através de gráficos ilustrativos e tabelas. Também são listadas as limitações e análise dos dados.

### 6.1 Testes de geração de tráfego

Neste teste foi executada uma geração de tráfego entre dois *hosts* utilizando a ferramenta IPERF, a fim de se obter a vazão. O seguinte comando foi usado: `iperf -c 192.168.1.1`. Os valores obtidos nos testes, foram inseridos no *Software LibreOffice Calc*<sup>14</sup>, por onde foram gerados os gráficos que ilustram esse trabalho.

Foram usadas duas distâncias, no primeiro com uma distância de dois metros (distância usada na maioria dos trabalhos relacionados) e no segundo com uma distância de cinco metros (distância máxima encontrada no laboratório), nos teste de PLC, se levou em conta apenas a metragem da rede elétrica, utilizando também um par de cabas Cat. 5e de 2 metros cada. Em ambas as metragens, o protocolo usado foi o TCP. Em cada cenário foram feitos dois testes, um somente com os cabos de rede, e no outro com os adaptadores PLC a fim de comparar uma tecnologia com a outra. Em cada teste foram realizadas 100 rodadas,

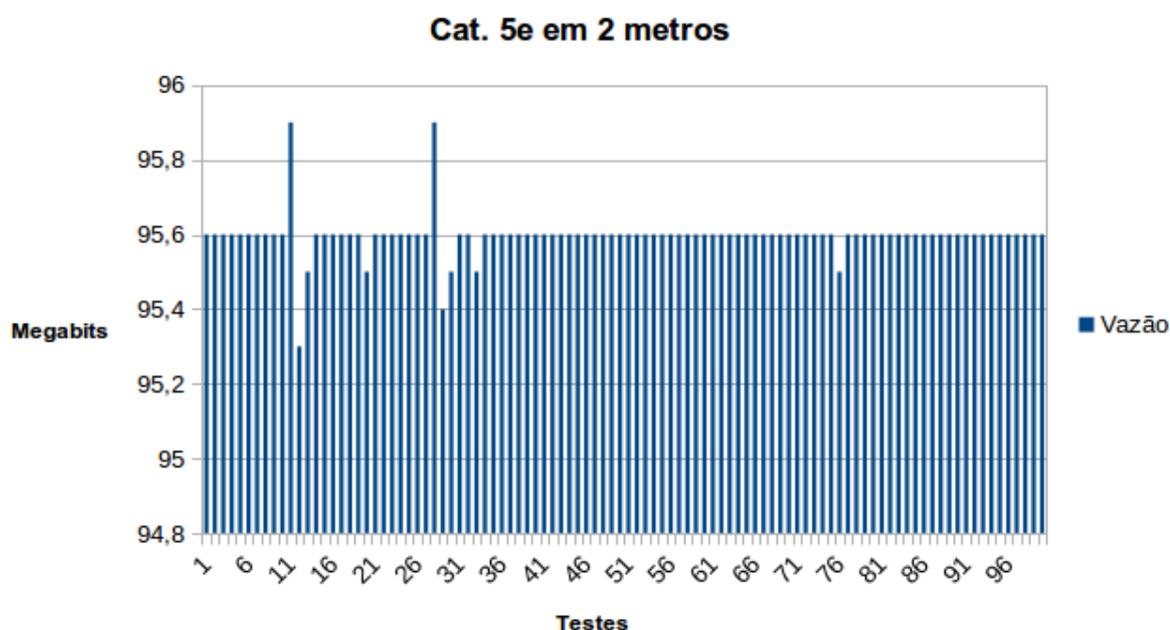
---

<sup>14</sup> <https://pt-br.libreoffice.org/>

cada uma durando 10 segundos (tempo padrão da ferramenta), totalizando 400 repetições, para que com isso se obtenha um bom intervalo de confiança.

O primeiro teste analisou o padrão de rede *Ethernet* Cat. 5e em uma distância de dois metros. A figura 15 ilustra os resultados obtidos da vazão neste teste.

Figura 15 - Vazão com Cat. 5e em 2 metros



Fonte: O autor

Através da figura 15, se nota que a média da vazão encontrada (95,5 Mbps) é bem uniforme em todo o decorrer do teste, com uma margem de erro de 0,0115, atingindo valor limite inferior de 95,58 Mbps e superior de 96,61 Mbps (do lado esquerdo a imagem apresenta a vazão dada em Megabits e no canto inferior a sequência de 100 repetições). A variância e desvio padrão (apresentados na tabela 9) encontrados estão ótimos (lembrando que ela promete 100 Mbps), demonstrando assim o quão confiável é a tecnologia Cat. 5e.

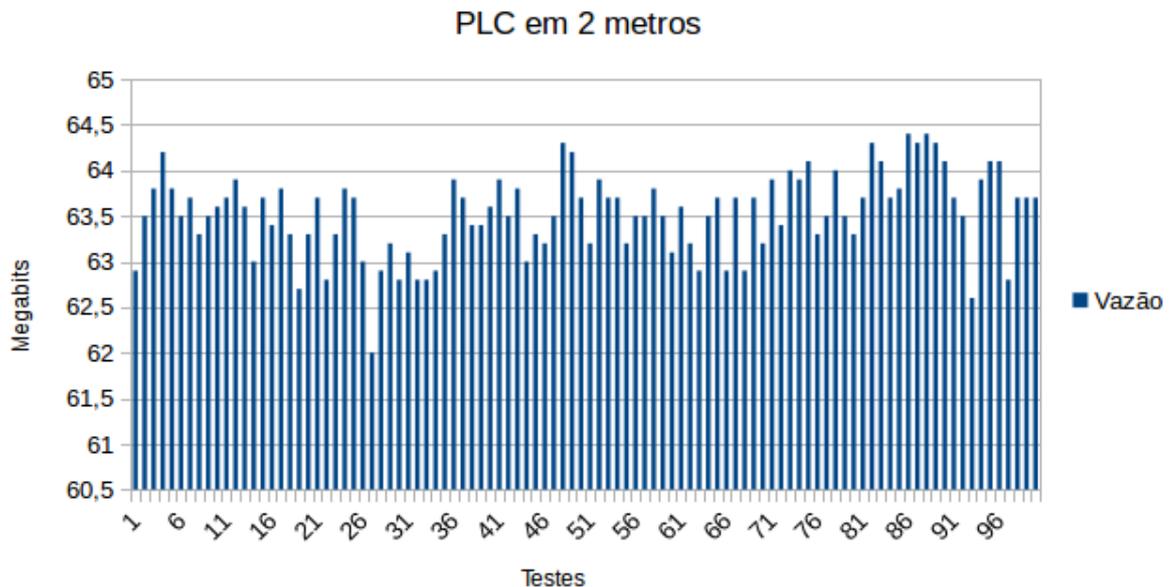
Tabela 9 - Resultados com Cat. 5e em 2 metros

Métrica	Média aritmética	Variância	Desvio padrão	Margem	Limite Inferior	Limite Superior
Vazão	95,59 Mbps	0,0019	0,0444	0,0087	95,58 Mbps	96,60 Mbps

Fonte: O autor

O Segundo teste manteve a distância (dois metros), mas analisou o padrão *HomePlug* AV, observando novamente a vazão. A figura 16 ilustra os resultados obtidos.

Figura 16 - Vazão PLC em 2 metros



Fonte: O autor

Continuando a análise, a partir dos dados observados na figura 15, é notável a oscilação na vazão, além desta estar bem abaixo da vazão obtida com o padrão Cat. 5e. Obtendo média de 63,52 Mbps, com uma margem de erro de 0,3337 (bem maior que a do teste anterior), atingindo valor inferior de 63,46 Mbps e superior de 63,59 Mbps. Valores estes bem distantes da taxa prometida pelo fabricante (que é de 200 Mbps). A variância e desvio padrão encontrados na tabela 10, estão bem acima dos valores encontrados no teste anterior, demonstrando assim a uma alta taxa de variação na taxa de transmissão de dados.

Tabela 10 - Resultados com PLC em 2 metros

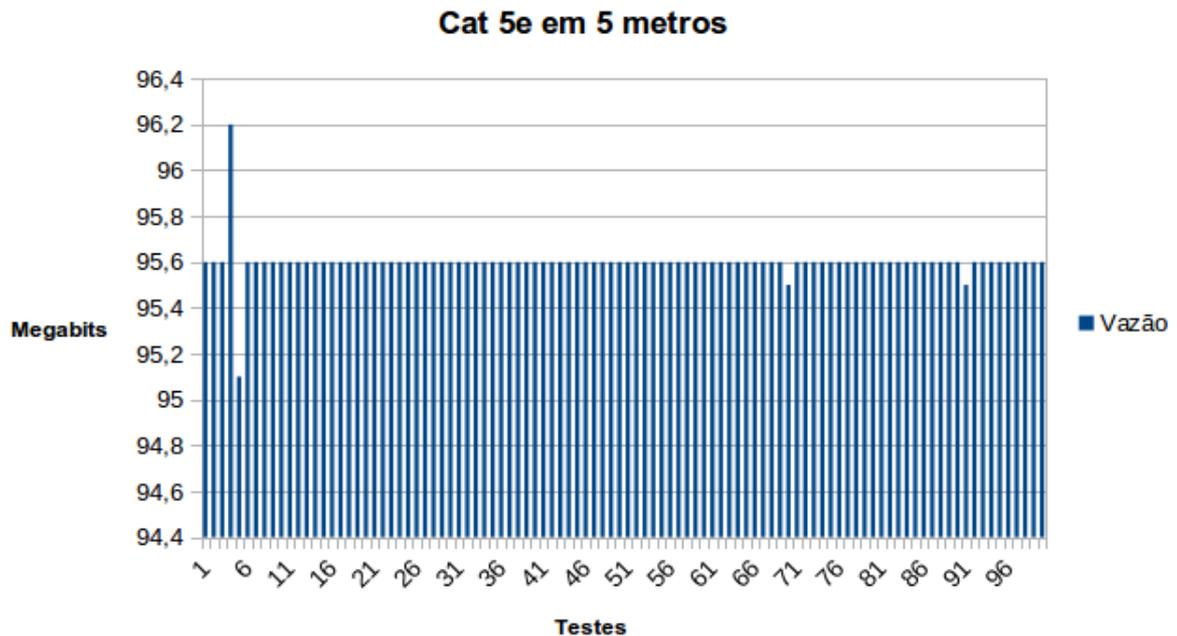
<b>Métrica</b>	<b>Média aritmética</b>	<b>Variância</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Margem</b>	<b>Limite Inferior</b>	<b>Limite Superior</b>
<b>Vazão</b>	63,52 Mbps	0,1114	0,3337	0,0654	63,46 Mbps	63,59 Mbps

Fonte: O autor

Nos próximos dois testes, a distância foi elevada para 5 metros, pois é a distância máxima encontrada entre uma tomada elétrica e a última de sua série no laboratório, lembrando que os adaptadores, segundo o fabricante, prometem 300 metros de alcance.

Mais uma vez se iniciam os testes com o padrão *Ethernet* Cat. 5e, e novamente a vazão é medida e apresentada na figura 17.

Figura 17 - Vazão com Cat. 5e em 5 metros



Fonte: O autor

Analisando a figura 17, é possível notar que houve um pico e uma baixa na transmissão, isso ocorre geralmente, por que na hora exata da medição, aconteceu um atraso no pacote inicial ocorrendo uma medição errada. Mesmo assim, a uniformidade nos dados encontrados continua, a vazão se manteve constante e obteve o mesmo valor médio do primeiro teste (95,59 Mbps) com uma margem de erro de 0,0115, atingindo valor limite inferior de 95,58 Mbps e superior de 96,61 Mbps, tendo o ultimo aumentado em relação ao teste anterior. Já o valor da variância quase que duplicou e o desvio padrão também teve um aumento, como apresenta a tabela 11, concluindo assim que mesmo aumentando a transferência de dados, têm-se uma pequena oscilação na transmissão.

Tabela 11 - Resultados com Cat. 5e em 5 metros

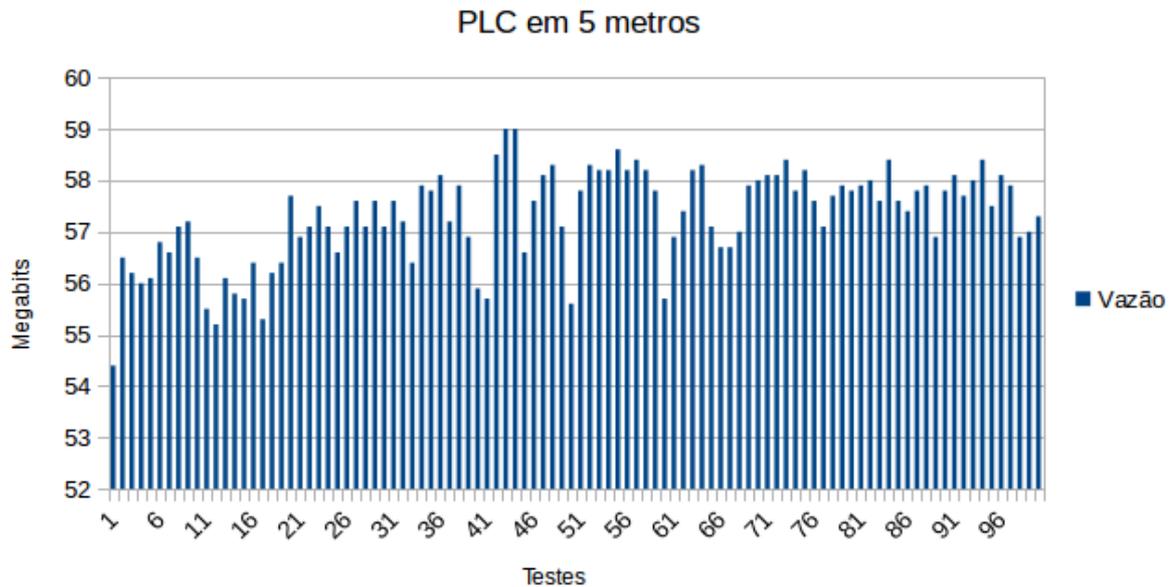
<b>Métrica</b>	<b>Média aritmética</b>	<b>Variância</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Margem</b>	<b>Limite Inferior</b>	<b>Limite Superior</b>
<b>Vazão</b>	95,59 Mbps	0,0034	0,0589	0,0115	95,58 Mbps	96,61 Mbps

Fonte: O autor

Dando continuidade aos testes, a figura 18 apresenta os dados obtidos no teste em 5 metros com o PLC. É possível ver que a oscilação na vazão continua, e que o valor médio caiu (57,30 Mbps) e os limites também caíram em relação ao PLC em 2 metros, com uma

margem de erro de 0,1317, atingindo valor limite inferior de 57,17 Mbps e superior de 57,43 Mbps.

Figura 18 - Vazão com PLC em 5 metros



Fonte: O autor

De acordo com a tabela 12, a variância quadruplicou e o desvio padrão duplicou, em relação ao teste com PLC em 2 metros. Com isso, conclui-se que o PLC em uma distância mais elevada tem uma taxa de transferência menor, e uma oscilação preocupante.

Tabela 12 - Resultados com PLC em 5 metros

Métrica	Média aritmética	Variância	Desvio padrão	Margem	Limite Inferior	Limite Superior
<b>Vazão</b>	57,30 Mbps	0,4516	0,6720	0,1317	57,17 Mbps	57,43 Mbps

Fonte: O autor

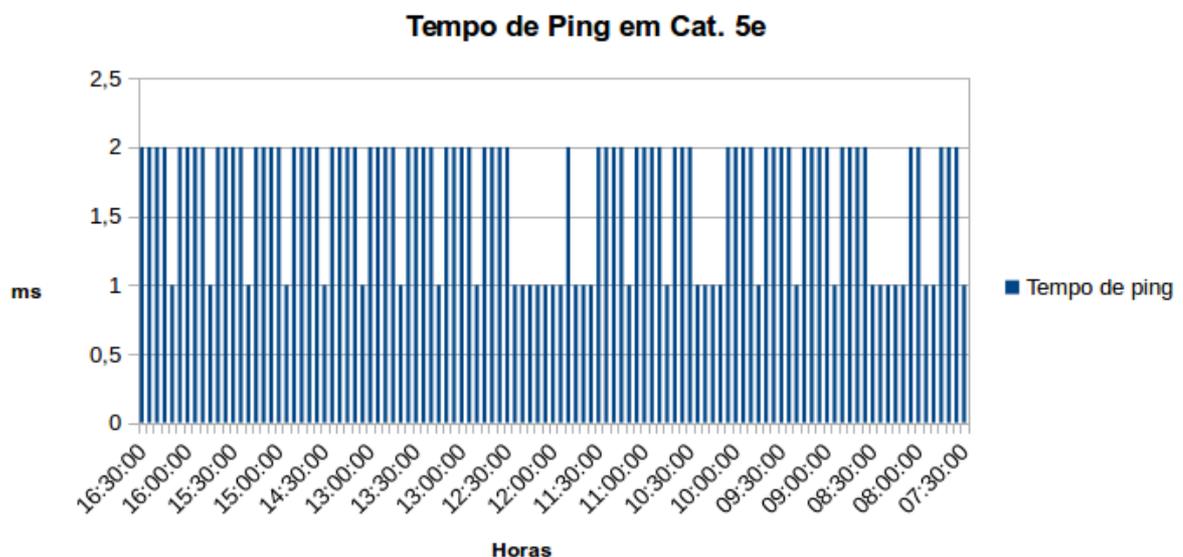
## 6.2 Teste de expansão de rede

O segundo cenário de testes é o de expansão de rede, como é apresentado na sessão de cenários. Este teste visa analisar a latência e a perda de pacotes da rede, durante a expansão através do par de adaptadores PLC *indoor*. A vazão neste teste não foi analisada visto que, o usuários do laboratório fizeram uso de forma não controlada, deixando-os livres para trafegar dados a qualquer velocidade alcançável.

Assim como em Rosa (2012), foi realizado o monitoramento por meio do *software* PRTG Network Monitor e o registro do desempenho do sistema PLC, operando em cenário real de uso do laboratório de informática. A avaliação deste desempenho foi realizada por meio do *ping*. O período de captura dos dados foi de 07:30 H da manhã até as 16:30 H da tarde, durante dois dias, optou-se por este horário visto que é o horário de funcionamento normal do laboratório. Durante esse funcionamento, alunos e professores fazem pesquisas e trabalhos escolares usufruindo da *internet* para esse fim. A cada segundo, um pacote ICMP (*ping*) é enviado do *notebook* com destino ao *switch* do DIO. O intervalo de tempo padrão de análise da ferramenta é de 05:00 (cinco minutos), foi selecionado nesse intervalo dois resultados: O tempo *de ping* e quantidade de pacotes perdidos.

Assim como no teste anterior (geração de tráfego), este teste também comparou o padrão *Ethernet* Cat. 5e com o padrão *HomePlug* AV. No primeiro dia de teste, foi analisado o padrão *Ethernet* Cat. 5e. Foi alocado um cabo temporário ligando o *switch* do laboratório ao *switch* do DIO. O PRTG ficou "pingando" um *switch*, localizado no *rack* do DIO, durante todo o experimento, a fim de aferir a latência da rede. A figura 19 exibe a latência nesse período.

Figura 19 - Tempo de *ping* em Cat. 5e



Fonte: O autor

Através da figura 19, nota-se a latência do *ping* dada em ms (milissegundo) observado no lado esquerdo da imagem, e no canto inferior se nota o resultado de hora em hora. O *ping* oscilou entre 1 e 2 ms, uma boa média para uma rede em uso, com margem de

erro de 0,0415 e um limite inferior de 1,62 ms e superior de 1,71 ms. A variância e o desvio padrão (tabela 13), ficaram no meio termo em relação aos testes de vazão, mas ainda com ótimos valores. Demonstrando que mesmo com tráfego em rede o padrão *Ethernet* Cat. 5e, apresenta uma boa latência.

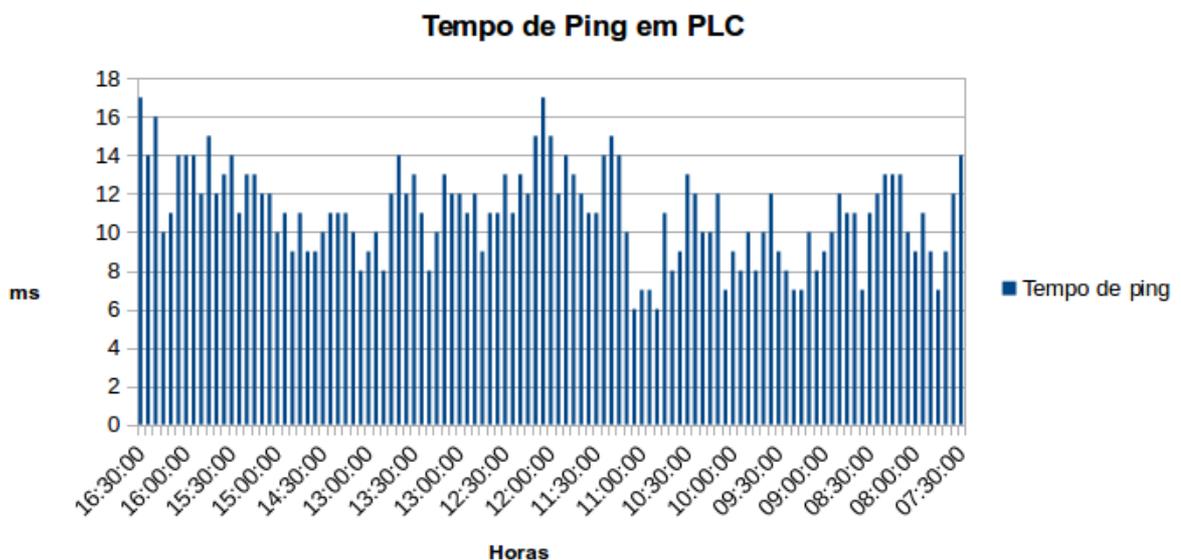
Tabela 13 - Resultados da latência com Cat. 5e

Métrica	Média aritmética	Variância	Desvio padrão	Margem	Limite Inferior	Limite Superior	Perda de pacotes
<b>Tempo de ping</b>	1,66 ms	0,2211	0,4703	0,0415	1,62 ms	1,71 ms	0%

Fonte: O autor

Por último têm-se o mesmo cenário, mas agora com a rede expandida pelo PLC, os resultados são exibidos na figura 20.

Figura 20 - Tempo de ping em PLC



Fonte: O autor

Por meio da figura 20, é notado que a latência se manteve em média com valor de 11,04ms, um valor muito acima do que apresenta o teste com *Ethernet* Cat. 5e no mesmo cenário. A variância e o desvio padrão (tabela 14) em relação ao teste anterior estão com valores muito altos. Com margem de erro de 1,0553 (margem muito alta) e um limite inferior de 9,99 ms e superior de 12,10 ms, causando assim uma oscilação muito alta na latência da rede.

Tabela 14 - Resultados da latência com PLC

<b>Métrica</b>	<b>Média aritmética</b>	<b>Variância</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Margem</b>	<b>Limite Inferior</b>	<b>Limite Superior</b>	<b>Perda de pacotes</b>
<b>Tempo de ping</b>	11,04 ms	5,6217	2,3710	1,0553	9,99 ms	12,10 ms	0%

Fonte: O autor

### 6.3 PLC residencial

Desde a compra dos adaptadores (em meados de 2013) até a realização desses testes (junho de 2015), aconteceram diversos empréstimos deste equipamento para alguns interessados em testar essa tecnologia, totalizando 10 entusiastas em PLC.

Através desses empréstimos, observou-se vários relatos, uns positivos e outros negativos, fazendo com que fosse necessária a realização de uma pesquisa com esses entusiastas a fim de saber por meio deles o que acharam dessa tecnologia. Esta pesquisa de QoE, assim como em Carmona (2011) foi feita de forma subjetiva analisando as opiniões dos usuários. Abaixo é apresentado o questionário que foi realizado com esses entusiastas. A plataforma usada foi o Google formulários, que segundo Google (2015), através desta ferramenta é possível planejar eventos, criar pesquisas ou votações, preparar testes para alunos, bem como coletar outras informações de forma simples e rápida.

O formulário foi elaborado pelo autor, contendo 5 questões objetivas e uma de seleção. O principal motivo do formulário é obter informações, sobre a experiência dos usuários com o a tecnologia PLC em suas residências. Abaixo são listados as questões e os resultados obtidos em cada uma.

#### 1 - Para qual finalidade você utilizou o PLC?

Tabela 15 - Resultados da 1ª questão

<b>Item</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	<b>Porcentagem</b>
Apenas expansão de rede local	1	10%
Expansão de rede local e distribuição de internet	8	80%
Distribuição de internet e outros serviços (Por exemplo, VoIP e streaming em HD)	1	10%

Fonte: O autor

Através da tabela 15, é notável que o principal uso da tecnologia foi voltado para expansão de rede local e uso da *internet* (com 80% dos usuários optando por esse quesito). Esta pergunta foi necessária para saber que tipo de rede o PLC estava expandindo.

### 2 – Você utilizou o PLC em conjunto com outra tecnologia?

Tabela 16 - Resultados da 2ª questão

Item	Quantidade de respostas	Porcentagem
Não, apenas utilizei o PLC	1	10%
Sim, PLC em conjunto com <i>Wi-Fi</i>	9	90%
Outra	0	0%

Fonte: O autor

Como observado na tabela 16, a principal tecnologia que o PLC complementa é o *Wi-Fi*, com 90% das respostas obtidas. Esse resultado, confirma que seu uso em conjunto traz benefício para os usuários. Pergunta esta necessária, para saber qual outra tecnologia o usuário fez uso, além do PLC.

### 3 – O que motivou você a usar esta tecnologia?

Tabela 17 - Resultados da 3ª questão

Item	Quantidade de respostas	Porcentagem
Problemas de sinal na minha rede <i>Wi-Fi</i>	5	50%
Limitação de alcance de minha rede local	6	60%
Utilização da malha elétrica como infraestrutura, evitando gastos maiores com adaptação do ambiente	6	60%
Comodidade	5	50%

Fonte: O autor

A terceira questão apresenta os itens em forma de seleção (tabela 17), ou seja, o entrevistado poderia optar por mais de um item. Analisando os resultados, percebe-se que o alcance limitado de sua rede local, e a utilização da rede elétrica, foram os principais motivos que levaram os usuários a fazer uso do PLC. Em terceiro lugar, os problemas com rede *Wi-Fi* e comodidade foram outros fatores que impulsionaram o seu uso. Esse questionamento se fez necessário para identificar por quais motivos um usuário compraria ou usaria um destes adaptadores.

## 4 – Estes adaptadores atenderam suas necessidades?

Tabela 18 - Resultados da 4ª questão

<b>Item</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	<b>Porcentagem</b>
Sim	8	80%
Parcialmente	2	20%
Algumas vezes	0	0%
Raramente	0	0%
Não	0	0%

Fonte: O autor

Na quarta questão, através da tabela 18, nota-se que as necessidades de 80% dos entrevistados foram atendidas, enquanto os outros 20% tiveram suas necessidades parcialmente atendidas. Ou seja, as necessidades de todos os usuários foram atendidas. O objetivo dessa questão, é descobrir se o usuário obteve sucesso no uso do PLC, para o fim que ele buscava.

## 5 – Qual o índice de avaliação você daria para estes adaptadores

Tabela 19 - Resultados da 5ª questão

<b>Item</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	<b>Porcentagem</b>
Excelente	3	30%
Bom	7	70%
Razoável	0	0%
Pobre	0	0%
Ruim	0	0%

Fonte: O autor

Na penúltima questão, os entrevistados deram uma nota para tecnologia. O item “Bom” foi o mais escolhido com 70% (tabela 19), demonstrando assim que o PLC é visto pelos usuários participantes como uma boa tecnologia de transmissão de dados. Essa questão se fez útil para saber qual a visão final do usuário.

6 – Através da sua experiência de uso. Você recomendaria esta tecnologia para outras pessoas?

Tabela 20 - Resultados da 6ª questão

<b>Item</b>	<b>Quantidade de respostas</b>	<b>Porcentagem</b>
Sim	7	70%

Sim, mas com ressalvas	3	30%
Não	0	0%

Fonte: O autor

O resultado da última questão (tabela 20), demonstra que o usuário aprova e recomenda o uso dessa tecnologia para outras pessoas com um índice 70%, e ainda 30% restante aprova, mas com algumas ressalvas. O principal emprego desse questionamento foi para saber se o usuário indicaria para mais alguém esta tecnologia.

#### 6.4 Limitações

Nesta subseção são listadas as dificuldades encontradas na realização desta pesquisa. Em ambos os testes em laboratório, infelizmente não foi possível testar ao máximo todo o potencial do padrão *HomePlug AV*, visto que o ambiente de teste não atinge o alcance máximo desta tecnologia que promete até 300 metros. Na pesquisa em residências, não foi possível se ter uma população amostral maior, visto que apenas 10 pessoas estiveram dispostas em usar e devolve os adaptadores.

#### 6.5 Análise dos dados

Abaixo é apresentada a análise dos dados obtidos na metodologia utilizada para avaliação de desempenho, expansão de rede e pesquisa de campo. Por fim são elencadas algumas vantagens e desvantagens no uso da PLC como expansão da rede local.

Como resultado final dos testes de geração de tráfego, nota-se uma distância entre as duas tecnologias (*Ethernet* Cat. 5e e PLC). A primeira mais estável em sua vazão, enquanto a segunda conta com uma inconstância na transmissão de dados. Outra importante observação notada é que a tecnologia PLC, andou longe de entregar a taxa de transferência prometida pelo fabricante (que é de 200 Mbps). Como o padrão *HomePlug AV* usa o protocolo IEEE 803.u (com transferência de 100 Mbps), subentende-se que esse valor de 200 Mbps é agregado. Ou seja, 100 Mbps de *download* e 100 Mbps de *upload*. No entanto, esses valores também não foram alcançados. Mesmo com esses resultados, o PLC conta com uma taxa de transferência que atende as necessidades do laboratório, viabilizando o seu uso como alternativa de extensão da rede local.

Nos testes de expansão de rede, também é notável que ainda têm uma boa distância entre as essas duas tecnologias (*Ethernet* Cat. 5e e PLC). A primeira mantém uma

enorme estabilidade e uniformidade na transmissão de pacotes, enquanto que o PLC oscila bastante a latência, e eleva o tempo de resposta da rede para patamares altos, mas ainda aceitáveis. Igualmente ao *Ethernet* Cat. 5e, o PLC apresentou uma taxa nula na perda de pacotes, representando o esforço no desenvolvimento desta tecnologia, para tentar prover confiabilidade na entrega dos dados, validando o seu uso como alternativa, em caso em que a primeira tecnologia não pode ser empregada.

Por último, através dos resultados obtidos da pesquisa PLC residencial. Nota-se que, os usuários, em sua maioria usaram essa tecnologia para uso de distribuição de internet, e em conjunto com o *Wi-Fi*. Obtendo a resolução de alguns problemas em sua rede, além ter atendido bem as suas necessidades de forma cômoda e facilitada. Por fim os entrevistados aprovaram positivamente a tecnologia e a recomendam para outras pessoas.

Através dessa análise, foi possível fazer uma tabela com as vantagens e desvantagens do PLC *indoor*. Abaixo a tabela 21, apresenta esses resultados.

Tabela 21 - Vantagens e desvantagens do PLC indoor

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Baixo custo de implantação	Largura de banda menor que no padrão <i>Ethernet</i> Cat. 5e
Tecnologia totalmente <i>Plug-and-Play</i>	Oscilação na transmissão de dados
Comodidade	Oscilação na latência de rede
Vazão atende bem ao uso de baixo tráfego	
Taxa nula na perda de pacotes	
Ótimo complemento para expansão do alcance de redes <i>Wi-Fi</i>	
Avaliação positiva por parte dos usuários	

Fonte: O autor

## 7 CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi verificada a possibilidade de expansão de rede através da rede elétrica existente. Para isso, foram feitos testes a fim de analisar a possibilidade de implantação de uma rede PLC. Como estudo de caso, foram utilizado o laboratório de informática da Escola Municipal de Ensino Fundamental Coronel Virgílio Távora, e residências de voluntários.

Nos testes de geração de tráfego, como expansão de rede, observou-se que, os valores de vazão foram baixas e de latência foram altos. Mesmo assim, são aceitáveis para o tipo de aplicações usadas nos testes. Além disso, a perda de pacotes por ser nula, foi um fator positivo, mostrando assim que é capaz de se implantar uma rede PLC em um ambiente de aspecto parecido com o do laboratório. Nota-se também que este tipo de tecnologia não é recomendado para ambiente que tenha alto tráfego de dados, visto que nos testes o equipamento não conseguiu entregar a largura de banda prometida. Por fim, em ambientes residenciais, os usuários que tiveram a oportunidade de testar estes adaptadores, tiveram suas necessidades atendidas e relatando uma boa experiência de uso, avaliando a tecnologia positivamente e recomendando-a para outras pessoas.

Dessa forma, conclui-se que é possível implantar uma rede PLC em ambientes onde não se tenha outra infraestrutura de rede, desde que os requisitos de uso desta rede não sejam muito exigentes. Como por exemplo, baixo tráfego de dados e latência maior do que a do padrão *Ethernet* Cat. 5e. Percebeu-se também que a combinação de tecnologias PLC com *Wi-Fi*, é algo bastante atraente para usuários finais, provendo extensão do alcance da rede e comodidade.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL. **Resolução Normativa nº 375** de 25 de agosto de 2009. Regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009375.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

CARMONA, João Victor Costa. **Análise e desempenho de tráfego triple play em redes PLC de baixa tensão**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica,

Universidade Federal do Pará, Belém, 2011. Disponível em:  
<[http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/3025/1/Dissertacao\\_AnaliseDesempenhoTrafego.pdf](http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/3025/1/Dissertacao_AnaliseDesempenhoTrafego.pdf)>. Acesso em: 2 jun. 2015.

CHESHIRE, Stuart. **Latency and the Quest for Interactivity**. 1996. Disponível em:<<http://www.stuartcheshire.org/papers/LatencyQuest.html>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

CISCO. **A standardized and flexible ipv6 architecture for field area networks: Smart - Grid Last - Mile Infrastructure**. São Francisco, 2014. 23 p. Disponível em:  
<[http://https://www.cisco.com/web/strategy/docs/energy/ip\\_arch\\_sg\\_wp.pdf](http://https://www.cisco.com/web/strategy/docs/energy/ip_arch_sg_wp.pdf)>. Acesso em: 04 mai. 2015.

CORRÊA, Josias Rodrigues. **PLC: Power Line Communications**. 2004. 65 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, 2004. Cap. 1. Disponível em:  
<<http://www.si.lopesgazzani.com.br/TFC/monografias/TCC%20Josias%20Rodrigues%20Correa-Agosto%202004.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

COSTA, João Sérgio da Silva. **Internet via rede elétrica**. 2009. 36 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases, Cataguases, 2009. Cap. 1. Disponível em:  
<<http://pt.scribd.com/doc/25781279/Monografia-Oficial-Joao-Sergio-Da-Silva-Costa>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

FERREIRA. Hendrik C. Lutz Lampe, John Newbury and Theo G. Swart. **Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines**. 1. ed. Torquay, UK: John Wiley & Sons Ltd. 2010. 536 p. ISBN: 978-0-470-74030-9.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GOOGLE. **Google Formulários**. 2015. Disponível em:<<https://support.google.com/docs/answer/87809?hl=pt-BR>>. Acesso em 11 jun. 2015.

HOMEPLUG. **HomePlug AV2 Technology**. HomePlug Powerline Alliance, Inc. 2013. 12 p. Disponível em: <[http://www.homeplug.org/media/filer\\_public/2c/32/2c327fc8-25bb-409e-abf7-c398534c24dc/homeplug\\_av2\\_whitepaper\\_130909.pdf](http://www.homeplug.org/media/filer_public/2c/32/2c327fc8-25bb-409e-abf7-c398534c24dc/homeplug_av2_whitepaper_130909.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2015.

HOMEPLUG. **HomePlug Technology Overview**. 2015. Disponível em: <<http://www.homeplug.org/tech-resources/techoverview/>>. Acesso em: 29 mai. 2015.

HRASNICA. Halid, Abdelfatteh Haidine, Ralf Lehnert. **Broadband Powerline Communications** - Network Design. Londres. John Wiley & Sons Ltd. 2004. 290 p. ISBN 0-470-85741-2.

IPERF. **Iperf**. 2015. Disponível em: <<http://www.iperf.fr>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. 5. ed. São Paulo: Addison-Wesley, 2010

MACEDO. Ricardo, Robson Melo, Leonardo Melniski, Aldri Santos, Michele Nogueira. **Uma Avaliação Experimental de Desempenho do Roteamento Multicaminhos em Redes Veiculares**. Núcleo de Redes Sem Fio e Redes Avançadas (NR2). Universidade Federal do Paraná (UFPR). Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Curitiba. 2013. Disponível em: <<http://sbrc2013.unb.br/files/anais/wgrs/artigos/artigo-2.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

MINICOM. Ministério das Comunicações. **Cidades Digitais**. 2015. Disponível em: <<http://www.mc.gov.br/cidades-digitais>>. Acesso em 03 jun. 2015.

MORAES, Alexandre Cesar Pereira, Lucas Reis Silva, Luciano da Rocha Martins, Luciano Simões Caetano, Reginaldo Gomes de. **A viabilidade da tecnologia PLC como alternativa para o PNBL**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica - Telecomunicações) - Universidade Paulista – UNIP. Santo Andre. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplcalt1/default.asp>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Média Aritmética**. 2015. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/matematica/media-aritmetica.htm>>. Acesso em 03 jun. 2015.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Variância e desvio padrão**. 2015. Disponível

em: <<http://www.mundoeducacao.com/matematica/variancia-desvio-padrao.htm>>. Acesso em 03 jun. 2015.

NEW SCIENTIST. **The internet is running out of room - but we can save it**, 2015.

Disponível em: <<http://www.newscientist.com/article/dn27536-the-internet-is-running-out-of-room--but-we-can-save-it.html#.VWRqOmzNCko>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

NEWS ROOM CISCO. **Aes eletropaulo chooses cisco technology for the most innovative smart grid project in brazil**. 2014. Disponível em:

<[http://newsroom.cisco.com/release/1559384/AES-Eletropaulo-Chooses-Cisco-Technology-for-the-Most-Innovative-Smart-Grid-Project-in-Brazil?utm\\_medium=rss](http://newsroom.cisco.com/release/1559384/AES-Eletropaulo-Chooses-Cisco-Technology-for-the-Most-Innovative-Smart-Grid-Project-in-Brazil?utm_medium=rss)>. Acesso em: 25 mai. 2015.

NEWS ROOM CISCO. **Eletrobras Uses Cisco Technology for Smart Grid Project in Brazil**, 2015. Disponível em: <<http://newsroom.cisco.com/release/1630055/Eletrobras-Uses-Cisco-Technology-for-Smart-Grid-Project-in-Brazil->>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

PARENTE, Dante Aguiar. **Estudo de sistemas PLC (Power Line Communications)**. 2011. 69 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia de Teleinformática, Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Cap. 1. Disponível em: <[http://www.cgeti.ufc.br/monografias/DANTE\\_AGUIAR\\_PARENTE.pdf](http://www.cgeti.ufc.br/monografias/DANTE_AGUIAR_PARENTE.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2015.

PORTAL ACTION. **Intervalo de confiança**. 2015. Disponível em: <

<http://www.portalaction.com.br/inferencia/intervalo-de-confianca>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

PORTAL EDUCAÇÃO. **Diferenças entre pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2013.

Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/administracao/artigos/40088/diferencas-entre-pesquisa-quantitativa-e-qualitativa>>. Acesso em 23 jun. 2015.

PRTG. **PRTG Network Monitor** - Software de monitoramento de rede. 2015. Disponível em:

<<https://www.br.paessler.com/prtg>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

RFC **768**. 1980. Disponível em:<<https://www.ietf.org/rfc/rfc768.txt>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

RFC **793**. 1981. Disponível em:<<http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

ROSA, Magalí da. **Monitoramento de Temperatura do motor de Aerogeradores de Pequeno Porte Utilizando Power Line Communication - PLC**. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/49308>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

SANTOS. Christiane Borges, Flávio Geraldo Coelho Rocha, Flávio Henrique Teles Vieira, Sérgio Granato de Araújo, José Gonçalves Vieira, Thiago Lara Vasques. **Modelagem de tráfego em redes PLC utilizando cadeias de Markov**. 2010. 42º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Disponível em: <[www.din.uem.br/sbpo/sbpo2010/pdf/69625.pdf](http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2010/pdf/69625.pdf)>. Acesso em: 2 jun. 2015.

SILVA. Pedro Henrique Diniz da, ALVES. Nilton Júnior. **Ferramenta IPERF: geração e medição de Tráfego TCP e UDP**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. 2014. Disponível em: <[dx.doi.org/10.7437/NT2236-7640/2014.02.003](http://dx.doi.org/10.7437/NT2236-7640/2014.02.003)>. Acesso em: 2 jun. 2015.

Takahashi, A., Hands, D.; Barriac, V. **Standardization Activities In The ITU For A QoE Assessment Of IPTV**. IEEE Communication Magazine, V. 46, N.2, P. 78-84, 2008.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier: Campus, 2003. xx, 945p.

TECHNET. **O modelo TCP/IP**. 2015. Disponível em:<[http://www.bibli.fe.unicamp.br/download/apostila\\_abnt.pdf](http://www.bibli.fe.unicamp.br/download/apostila_abnt.pdf)>. Acesso em 01 jul. 2015.

TELECO. 2009. **PLC**. Disponível em:<<http://www.teleco.com.br/plc.asp>>. Acesso em 29 mai. 2015.

TP-LINK. **AV200 Nano Powerline Adapter Starter Kit TL-PA2010KIT**. 2015. Disponível em: <<http://www.tp-link.com/en/products/details/?model=TL-PA2010kit>>. Acesso em 03 jun. 2015.

YIGIT. Melike, V. Cagri Gungora, Gurkan Tuna, Maria Rangoussi, Etimad Fadel. **Power line communication technologies for smart grid applications: A review of advances and challenges**. Computer Networks Vol. 70. 09/09/2014. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614002369>>. Acesso em: 26 mai. 2015.