

## ANÁLISE DE DESEMPENHO SOBRE REDES CABEADA E PLC

### PERFORMANCE ANALYSIS ON WIRED AND PLC NETWORKS

PEDRO H. MELO SALGE<sup>1</sup>  
DIOVANI DOS SANTOS MILHORIM<sup>2</sup>

#### FACTHUS

FACULDADE DE TALENTOS HUMANOS.  
UBERABA (MG)

<sup>1</sup> e-mail: [pedro\\_melosalge@hotmail.com](mailto:pedro_melosalge@hotmail.com)

<sup>2</sup> e-mail: [diovani.milhorim@facthus.edu.br](mailto:diovani.milhorim@facthus.edu.br)

#### AUTOR CORRESPONDENTE

CORRESPONDING AUTHOR

DIOVANI DOS SANTOS MILHORIM

FACTHUS - Faculdade de Talentos Humanos

Rua Manoel Gonçalves de Rezende, 230 - Bairro Vila São

Cristóvão - Uberaba/MG

e-mail: [diovani.milhorim@facthus.edu.br](mailto:diovani.milhorim@facthus.edu.br)

#### RESUMO:

Este trabalho trata da tecnologia PLC utilizada para transmissão de informação via rede elétrica. A tecnologia PLC vem como uma solução de acesso rápido para redes locais aproveitando a estrutura já existente de cabeamento elétrico. O trabalho apresenta a descrição dos principais conceitos e tecnologias usadas para comunicação de dados pela rede elétrica. Foram realizados testes para verificar a viabilidade de implantação e o desempenho da tecnologia PLC. E, posteriormente foram realizados testes de transmissão de dados em ambiente *indoor* de efeito comparativo entre as tecnologias de redes: PLC e Cabeada, o experimento foi realizado entre dois computadores de mesma configuração, utilizando um arquivo de 4GB para as transferências. O programa *BWmeter* para a coleta de informações referente ao desempenho de cada transmissão entre os cabos elétricos de bitola de 2,5mm / 1,5mm e 1mm e o Cabo de Rede Cat5E. Foi constatado que mesmo alterando a bitola ou o tamanho do cabo de energia elétrica, não houve mudanças na taxa de transferência, mantendo sempre a mesma média de download e upload, já o cabo de rede Cat5E se mostrou inferior ao comparado com as taxas de transferência do cabo de energia elétrica, mostrando que neste experimento o PLC é superior a tecnologia cabeada.

#### PALAVRAS-CHAVES:

Redes de Computadores, Tecnologia Power Line Communication (PLC); transmissão de dados em redes elétricas; testes comparativos;

#### ABSTRACT:

This work deals with the PLC technology used for the transmission of information through the electric network. PLC technology comes as a fast access solution for local networks leveraging the existing structure of electrical cabling. The work presents the description of the main concepts and technologies used for data communication by the electric network. Tests were carried out to verify the feasibility of implantation and the performance of PLC technology. Afterwards, the experiments were carried out between two computers of the same configuration, using a 4GB file for the transferences. The *BWmeter* program for collecting information regarding the performance of each transmission between the 2.5mm / 1.5mm and 1m gauge electric cables and the Cat5E Network Cable. It was found that even altering the gauge or the size of the power cable, there were no changes in the transfer rate, always maintaining the same download and upload media, since the Cat5E network cable was inferior to the transfer rates of the power cable, showing that in this experiment the PLC and superior the wired technology.

#### KEYWORDS:

Computer Networks, Power Line Communication Technology (PLC); transmission of data in electrical networks; comparative tests;

## INTRODUÇÃO

Uma demanda crescente por conectividade em ambientes domésticos vem surgindo devido à necessidade de compartilhar recursos e acesso à Internet em banda larga. Assim, o paradigma de redes domiciliares foi criado privilegiando características importantes como a onipresença de pontos de acesso à rede na residência segundo (CAMPISTA, 2004). O grande mercado para os próximos anos em redes domiciliares é a interconexão, em rede e com qualidade de serviço, de equipamentos de áudio e vídeo.

Segundo Ferreira (2006) a tomada que é, usualmente, utilizada para fornecer energia elétrica, também pode ser utilizada para ser um ponto de conexão de uma rede de comunicação de dados local. A aplicação desta tecnologia em “prédios inteligentes” leva grande vantagem sobre outros meios de comunicação. Os “prédios inteligentes” se caracterizam pelo uso da tecnologia para criar uma estrutura sustentável tendo em vista fatores como conforto, segurança, comunicação, economia de recursos e respeito ao ambiente.

O custo é fator primordial em redes domiciliares e, conseqüentemente, a realização de obras civis para instalação de novos cabos pode ser decisiva na escolha da tecnologia a ser adotada. As redes domiciliares através da rede elétrica (Redes PLC – *Power Line Communication*) são uma alternativa de acesso que têm a grande vantagem de não precisarem de novos cabos para a comunicação. Redes domiciliares é a interconexão de dispositivos domésticos. A ideia de usar a fiação elétrica como meio de comunicação não é nova. Já em 1838, surgiu o primeiro medidor de consumo remoto.

A fiação elétrica é um meio bastante hostil para comunicações de dados, e estas aplicações pioneiras somente foram possíveis por requererem baixas taxas de transmissão. Recentemente, surgiram as primeiras propostas de se utilizar complexas técnicas de modulação e correção de erros para permitir o aumento da taxa de transmissão. Isto possibilitou a interconexão de computadores e o compartilhamento de acesso à Internet usando a fiação elétrica, com isto, surgiu o Padrão *HomePlug* (CAMPOS, WANDERLEY E BIONDI, 2007).

Diante destas informações, este experimento tem como objetivo analisar a transferência de arquivos, entre dois pontos de rede através de um cabo de energia elétrica de diferentes bitolas e um cabo de rede par trançado CAT6 em uma rede ponto a ponto. O dispositivo a ser usado para a conexão e o PLC da TP-Link.

Os resultados obtidos serão analisados nos quesitos de desempenho. As medições serão comparadas obtendo resultados em comprimentos diferentes, e apresentados em forma de tabelas e gráficos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### REDES DE COMPUTADORES

Tanenbaum (1997) define o que é rede de computadores:

“É um conjunto de computadores autônomos interconectados. Dois computadores são interconectados se eles são capazes de trocar informações.”

Segundo Kurose e Ross (2003) uma rede de computadores pode ser definida como um conjunto de dispositivos conectados por links de comunicação (denominados, frequentemente, de nós). Este nó pode ser um computador, uma impressora ou qualquer outro dispositivo capaz de enviar e/ou receber dados gerados em qualquer entidade de rede. Ainda de acordo com o autor, existem diversos tipos de Redes de Computadores.

As LANs abordadas aqui são utilizadas em larga escala em ambiente acadêmico no mundo inteiro. Estes tipos de redes aceitam vários tipos de topologia (formas de ligação entre as máquinas), como: Barramento, Anel, Estrela, AD HOC, Mista.

### ARQUITETURA DE REDES

Segundo Tanenbaum (1997) a arquitetura de rede é dividida em camadas ou níveis, que são colocados um sobre o outro, com o objetivo de que cada camada oferece determinados serviços para as camadas superiores, ocultando detalhes da implementação dos recursos oferecidos. A quantidade de camadas difere de uma arquitetura para outra. Uma camada se comunica com uma outra camada de outra máquina através de uma interface, regras previamente estabelecidas para que haja uma comunicação entre as partes envolvidas. Em cada par de camadas adjacente há uma interface, que define as operações e os protocolos oferecem serviços que a camada inferior pode oferecer para a camada superior.

Kurose e Ross (2003) destaca que um conjunto de camadas e protocolos é chamado de Arquitetura de Rede, as duas mais importantes são: o modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) e a Arquitetura de rede TCP/IP.

### ARQUITETURA TCP/IP

Segundo Kurose e Ross (2003) a arquitetura TCP/IP é um conjunto de protocolos, os mais conhecidos são TCP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*). Esta arquitetura se caracteriza por ser aberta e roteável. Ela possui controle de fluxo, transferência de dados confiável, controle de congestionamento dentre outras características. O modelo TCP/IP foi dividido em 4 camadas, segue abaixo os tipos.

## CAMADA INTERLIGAÇÃO

Esta camada é responsável pela transferência confiável dos pacotes através do meio físico. Dentre as ações realizadas por um protocolo desta camada estão inclusos a detecção de erros, a retransmissão, o controle de fluxo e o controle de acesso ao meio.

## CAMADA DE REDE

As funções da camada de rede se incumbem da parte de endereçamento e do roteamento entre as máquinas. Endereçamento: em uma rede existe o endereçamento que idêntica um determinado dispositivo, como único. Endereçamento IP: Nas Redes roteadas os endereços são compostos por duas partes, o endereço da rede e do nó (host), ou seja, se dois dispositivos possuírem um mesmo número de rede, significa que estão numa mesma rede, caso contrário, estão em redes distintas possivelmente roteadas. Um endereço IP é uma espécie de telefone para chegarmos a um computador. O endereço IP é composto por quatro octetos, ou seja, quatro conjuntos de números que variam de 0 a 255 (máximo 2) Todo endereço IP pertence a uma rede e toda rede possui uma máscara de rede, que define a quantidade de host ou computadores que poderá ter determinada rede.

## CAMADA DE TRANSPORTE

A camada cuida, dentre outras coisas, de assegurar que toda a mensagem chegue intacta e livre de erros (COMER, 2001).

## CAMADA DE APLICAÇÃO

A camada de aplicação permite ao usuário final o acesso à rede (seja ele humano ou software). Ela provê interfaces e suporta serviços tais como correio eletrônico, acesso a transferência de arquivos, terminal remoto (telnet), acesso à *World Wide Web* dentre outros serviços é formada pelos protocolos utilizados pelas diversas aplicações do modelo TCP/IP. Esta camada não possui um padrão comum (COMER, 2001).

### DHCP (DYNAMIC HOST CONFIGURATION PROTOCOL)

DHCP significa Protocolo de Configuração Dinâmica de máquinas, usado para controlar e passar parâmetros de rede para máquinas clientes a partir de um servidor. Um servidor de DHCP passa parâmetros como: endereço IP, endereço de cada instância na rede; a máscara de sub-rede que define um subgrupo de máquina, rota padrão ou gateway que são as máquinas cujos pacotes deverão ser enviados quando estes estiverem destinados a uma outra rede; quais são os servidores de resolução de nomes, DNS (*Domain Name System*); NTP (*Network Time Protocol*), o servidor de sincronização de hora; NIS (*Network Information Service*), que compartilha bancos de dados, com tabela de usuários/senha, grupos de usuários ou qualquer outra

informação desejada, usado em sistemas Unix; WINS ou NBNS (*Netbios Name Server*), também utilizado para resolver os nomes, dentre outras informações (KUROSE e ROSS, 2003).

Cada servidor DHCP é responsável por um conjunto de IPs de uma ou mais redes, devidamente configurados, o cliente recebe estas informações ao estabelecer uma comunicação com o servidor (SOUZA, 1999). Quando uma máquina é iniciada são enviados diversos pacotes ou mensagens solicitando o empréstimo ou a continuidade na utilização de um endereço IP, o chamado pacote *broadcast*, um servidor DHCP recebe e interpreta essas mensagens e as responde. A partir daí a máquina cliente começa a trocar mensagens com o servidor até que o processo de atribuição de IP termine. Ao final desse processo, a máquina cliente recebe as informações da rede e o tempo de empréstimo do IP, ou seja, este empréstimo é por tempo limitado determinado pelo servidor.

### BWMETER

É um programa de medidor de consumo de banda e tráfego que mostra e controla todo o tráfego do seu micro em todas as suas interfaces de rede. Ele pode analisar os pacotes de dados (de onde eles veem, para onde vão, que porta e protocolo eles estão usando). Com este detalhamento você poderá facilmente diferenciar os tipos de dados que estão trafegando na rede local e na internet. Ele também pode ser usado para controle de rede através da definição de limites para cada tipo de conexão, restringindo acessos a sites específicos, etc.

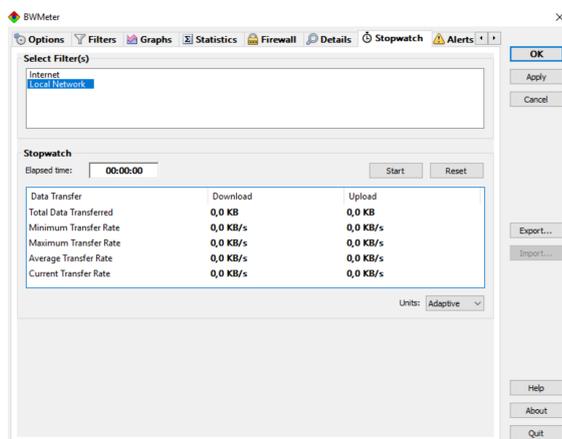
Ele cria estatísticas para todos os computadores na sua rede, medindo e mostrando gráficos de tráfego de rede bem como download/upload da internet. Você pode também definir filtros que mostrarão a transferência de certos endereços da internet. É muito interessante para empresas pequenas que queiram controlar que tipo de dados estão sendo acessados pelos computadores da sua rede local (tanto localmente como na internet).

## PLC – POWER LINE COMMUNICATION

### Histórico

Segundo Schawartz (2009) a ideia de se transmitir sinais por linhas de potência como meio de transmissão de dados remonta ao início do século XX. Porém, nunca foi considerado um meio de comunicação viável devido à baixa velocidade, baixa funcionalidade e alto custo de desenvolvimento. No início da década de 50 foi desenvolvida a primeira técnica que possibilitou a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para transmissão de alguns sinais de controle. O método denominado de RPC (*Ripple Control*), possibilitava a comunicação em frequências baixas (100-900Hz), mas demandava altas potências de transmissão. A comunicação era feita de forma unidirecional, enviando sinais de controle para tarefas simples como acionamento

Figura 1: Tela do programa BWMeter



Fonte: Autores

da iluminação pública e o controle de carga. Na década de 80, foram desenvolvidos novos sistemas, mas ainda com taxas modestas (SCHWARTZ, 2009).

De acordo com Sutterlin e Downey (1999) pesquisas pioneiras foram realizadas por algumas empresas de energia na Europa e nos Estados Unidos no sentido de analisar as características da rede elétrica e as suas reais capacidades como canal para comunicações. No início da década de 90, iniciaram na Inglaterra testes que utilizavam a rede de energia elétrica para transmissão de dados em alta velocidade. Entre 1995 e 1997, ficou demonstrado que era possível resolver os problemas de ruído e interferências e que a transmissão de dados de alta velocidade poderia ser viável. Também se verificou a viabilidade do fornecimento de comunicação de forma bidirecional com frequências mais elevadas e menores níveis de potência de transmissão (PAVLIDOU et al, 2003).

Segundo Majumber e Caffery (2004) na época, como o setor de telecomunicações estava passando por um crescimento explosivo no mundo (celular e internet) as empresas elétricas mundiais pensavam em se tornar provedores de serviços de telecomunicações utilizando seus ativos de distribuição. Recentemente, o uso de linhas de potência para comunicação foi largamente disseminado pelo avanço de instalação de fibras ópticas e barateamento de sistemas de telecomunicações. Ainda assim, algumas poucas aplicações de banda estreita em residências e sistemas de segurança e automação predial utilizam ainda sistemas de *Powerline Carrier* de banda estreita, com baixa velocidade e com modulação analógica (PAVLIDOU et al, 2003).

### Definição

Schwartz (2009) define a tecnologia PLC como:

“Um sistema de telecomunicações operando com rádio

frequências que utiliza a rede elétrica de distribuição como meio de transporte para o fornecimento de sinais de telecomunicações.”

Segundo Majumber e Caffery (2004) *Power Line Communication* é a tecnologia na qual utiliza-se a rede elétrica de distribuição como meio físico para o transporte de sinais de dados, vídeo e voz aproveitando a estrutura já previamente instalada.

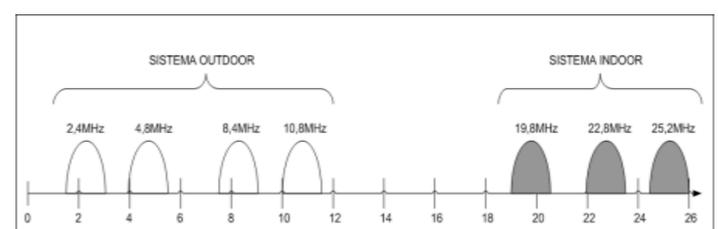
Pavlidou et al (2003) elucida que *Power Line Communication* (PLC) é uma tecnologia que usa a rede de energia elétrica para transportar sinais de comunicação. Como faz uso de uma infraestrutura já disponível, não necessita de obras para ser implementada já que, os futuros clientes dessa tecnologia utilizarão apenas a tomada da rede de energia elétrica para se comunicar ao telefone, obter acesso à internet, assistir vídeos, transmitir e receber fax.

### FAIXA DE FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO DO PLC

A faixa de frequência de operação dos modems PLC está compreendida entre 1,6 e 30MHz. Os modems PLC utilizam duas faixas de frequência. A primeira faixa é utilizada para a transmissão *outdoor* e está compreendida entre 1MHz e 12MHz.

A outra faixa de frequência compreendida entre 18MHz e 26MHz é utilizada para transmissão *indoor*, que é o foco deste experimento. Na Figura 2, o diagrama apresenta o espectro de frequência utilizado pelo sistema (PINHO, 2003)

Figura 2: Faixas de frequências por segmento da rede PLC (*Indoor* e *Outdoor*)



Fonte: PINHO, D., PLC - PowerLine Communication, UFRJ, 2003.

### APLICAÇÕES INTERNAS (INDOOR)

São aplicações na qual a transmissão é conduzida usando a rede elétrica interna de um apartamento, de um escritório ou de um prédio. (HOMEPLUG, 2009)

Uma rede domiciliar é um sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências, normalmente restritos a uma distância de 300 metros, e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer. Nestas redes as aplicações de controle, monitora-

mento e automação domiciliar requerem baixas taxas de transmissão e bandas. Porém, as aplicações relativas ao entretenimento (multimídia), vídeo e áudio requerem altas taxas de transmissão, baixo atraso e baixa taxas de variação do atraso. As redes domiciliares apresentam baixo custo, fácil de instalar e usar. Contudo são limitadas a poucos ambientes nos domicílios já construídos. Com o advento das aplicações de áudio, vídeo, multimídia e outras a necessidade de conectividade deverá, em pouco tempo, se estender para todos os cômodos ou ambientes do domicílio.

### PADRÃO HOME PLUGUE 1.0

Com a finalidade de criar uma tecnologia inovadora para as redes PLC domésticas foi formado, em março de 2000, uma aliança entre diversas empresas. Essa aliança tinha como objetivo padronizar essa tecnologia em ambiente *indoor*, pois não havia interoperabilidade, ou seja, dispositivos de diferentes fabricantes não comunicam entre si (JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005).

Este padrão foi denominado HomePlug 1.0. A norma HomePlug específica a subcamada de acesso ao meio e a camada física para redes de baixa tensão. A especificação HomePlug 1.0 foi disponibilizada para as empresas participantes em junho de 2001, mas somente em janeiro de 2002 surgiram no mercado os primeiros produtos em conformidade com esse novo padrão.

O HomePlug 1.0 utiliza o método de acesso múltiplo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) para disponibilizar uma taxa de transferência de até 14Mbps, entretanto, a taxa média alcançada não passa de 8Mbps (CAMPISTA, 2004).

O tipo de modulação OFDM foi o escolhido como técnica básica de transmissão por possuir uma alta eficiência espectral ao dividir a banda disponível em muitas sub portadoras estreitas, de menor taxa (HOMEPLUG, 2009)

O padrão HomePlug 1.0 possui uma camada física robusta, que combina várias técnicas de modulação, processamento de sinais e correção de dados. Todas essas técnicas devem ser utilizadas em conjunto, para alcançar o desempenho desejado (CAMPOS, 2004).

O alcance que uma rede HomePlug pode atingir varia entre os valores de 200 e 300m. Essa variação ocorre pela variação do nível de ruído presente na rede de energia elétrica (JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005).

O padrão HomePlug 1.0 utiliza a criptografia DES (*Data Encryption Standard*) de 56 bits (HomePlug, 2009). A criptografia na rede PLC acontece na camada de enlace, garantindo confidencialidade ao enlace estabelecido pelo usuário, dessa forma os dados estão sempre em rede local fazendo com que essa tecnologia não ultrapasse a caixa

elétrica da residência. A tecnologia PLC possui, de fato, muito mais segurança do que a tecnologia Wi-Fi, que apesar de necessitar de uma identificação por usuário e senha, dependendo do alcance, pode ser visível pelos vizinhos.

Um dispositivo Homeplug 1.0 opera em modo ad hoc (tipo de rede na qual todos os terminais funcionam como roteadores, encaminhando de forma comunitária as comunicações advindas de seus terminais vizinhos), já que todos os dispositivos se comunicam uns com os outros livremente, sem qualquer coordenação centralizada (CAMPOS, 2006).

### REDES DE ENERGIA ELÉTRICA COMO MEIO PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS

As redes de distribuição de energia elétrica apresentam uma estrutura eletromagneticamente aberta, ou seja, não possui proteção contra o recebimento e envio de sinais interferentes em altas frequências (PAVLIDOU et al, 2003).

Por isso, a transmissão de um sinal PLC pode ser prejudicial a sistemas que se encontram mais próximos. A interferência pode se dar pela radiação, em sistemas de comunicação sem fio que estão próximos a rede PLC, ou através de uma rede elétrica que possui vários sistemas e equipamentos ligados simultaneamente. Além do que essa interferência possa ser do próprio sistema PLC (GÖTZ, 2004) e (HENRY, 2005).

Nos primórdios as estações de fornecimento de energia elétrica não foram projetadas para servirem como meio de propagação de sinais em altas frequências. Por isso, a comunicação de dados pela rede elétrica se depara com dificuldades como: ruídos de diversas naturezas, seletividade de frequências e múltiplas reflexões (MAJUMDER e CAFFERY, 2004).

Com a evolução das técnicas de modulação e multiplexação e o avanço da microeletrônica, vários dispositivos e modems quem utilizam a tecnologia PLC já estão disponíveis no mercado (JUNG, M., CHUNG M. Y. e LEE, 2005).

### IMPEDÂNCIA DO CANAL

A impedância do canal, ou seja, a oposição que a corrente elétrica sofre ao atravessar um transistor é uma variável extremamente flutuante, pelo fato de uma rede de energia elétrica possuir várias ramificações, com cargas sendo constantemente conectadas e desconectadas sem um prévio controle (GÖTZ, 2004).

O fenômeno da reflexão do sinal causada pelos diversos tipos de conexão existentes na rede elétrica, também, influencia a comunicação nesse meio (GÖTZ, 2004).

### ATENUAÇÃO DO SINAL PLC

A atenuação refere-se à perda que um sinal elétrico pode sofrer ao ser transmitido em um dado meio físico (HAYKIN e VENN, 2006). A atenuação varia não apenas com a frequência do sinal como também com o tempo, devido às cargas que são conectadas e desconectadas. Ou seja, as características elétricas da rede são variantes no tempo em razão dos dispositivos que são conectados e desconectados aleatoriamente (PAVLIDOU et al, 2003).

A temperatura do meio e as condições climáticas também são fatores que influenciam na transmissão (HAYKIN e VENN, 2006).

### INTERFERÊNCIAS E RUÍDOS

Nas redes de Alta Tensão esses distúrbios são causados devido à ocorrência de descargas atmosféricas, interrupções de cunho operacional (HENRY, 2005).

Nas redes de Média Tensão essas perturbações na rede ocorrem principalmente por manobras operativas como o chaveamento em bancos de capacitores (HENRY, 2005).

Já nas redes de Baixa Tensão os componentes industriais, comerciais ou residenciais conectados à rede elétrica são a causa dos ruídos e interferências (HENRY, 2005).

### ANÁLISE DA SEGURANÇA

Como a tecnologia PLC utiliza o sistema elétrico para a transmissão de dados faz-se necessário um estudo da segurança da rede implementada nesse meio devido ao risco do sigilo dos dados trafegados na rede. Esse risco, também, está associado a possíveis acessos não autorizados na rede. Para garantir a integridade da rede PLC em ambiente *indoor* alguns parâmetros poderiam ser analisados e verificados. Destaca-se a vulnerabilidade, o controle de acesso, a proteção contra softwares maliciosos, o controle de acesso à rede.

Apesar da criptografia utilizada pela tecnologia PLC outros sistemas que visam a segurança da rede poderão ser implementados. Um sistema de detecção de controle de acesso à rede pode ser desenvolvido para evitar acessos não autorizados no sistema

### REGULAMENTAÇÃO NO MUNDO

Algumas entidades na Europa, EUA, Japão e outras partes do mundo realizam pesquisas tecnológicas, padronizações e regulamentações para a tecnologia para o PLC.

Os *Framework Programmes* são o principal instrumento de financiamento utilizado pela União Europeia para apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Na Europa os *Framework Programmes* são o principal instrumento de financiamento utilizado para apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento. O projeto OPERA (*Open PLC European Research Alliance for New Generation PLC Integrated Network*) ou Aliança Européia para uma Rede PLC Banda Larga Integrada, de Nova Geração, é uma atividade do *Framework Programmes* (FITEC INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, 2005).

Com o tempo, foram surgindo comunidades para a discussão da comunicação *PowerLine*, como o PLC Fórum, criado em 1997 na Europa e o Power Line Telecommunications Fórum (PLTF), criado em 1998 nos EUA. Ambos com o objetivo de compartilhar as informações entre fabricantes, empresas que desenvolvem aplicações, usuários potenciais e órgãos de regulamentação; desenvolver normas para serviços e produtos de telecomunicações em linhas de energia, com a intenção de submetê-las aos órgãos nacionais e internacionais de regulamentação.

### NO BRASIL

As agências reguladoras de telecomunicações (Anatel) e de energia elétrica (Aneel) estão preparando normas que irão lançar no setor comercial no Brasil a tecnologia *Power Line Communication* (PLC), que utiliza os fios de eletricidade para banda larga.

Foi publicado em 13 de março de 2009 pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) a medida que aprova o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica (BPL) no país. A Resolução 527, que libera a adoção da nova tecnologia de internet, cuja prestação de serviço é feita pela rede de energia elétrica, determina critérios técnicos para o oferecimento da prestação de serviço através de comunicação de dados utilizando radiofrequência na faixa entre 1.705 kHz e 50MHz (ANATEL, 2009).

As redes das distribuidoras de energia elétrica, tecnicamente, estão prontas para prestar esse serviço – seria suficiente realizar algumas adaptações acessíveis financeiramente. Seria necessário instalar roteadores nos postes para direcionar a transmissão de dados e um modem na residência ou no escritório do cliente, parecido com os aparelhos que as empresas de telefonia ou de TV a cabo usam para fornecer acesso à Internet (ANATEL, 2009).

Os equipamentos que irão ser utilizados no sistema PLC de banda larga deverão ter certificação de uso específica reconhecida pela Anatel. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) irá dispor sobre a prestação do serviço elétrico. Empresas interessadas já podem solicitar autorização para atuar no mercado e terão tempo suficiente para se adaptar às regras impostas pelo regulamento (ANATEL, 2009).

**MATERIAIS E MÉTODOS**

A figura 3 mostra os materiais utilizados para o desenvolvimento deste experimento. Foram utilizado dois computadores iguais com placa de redes 10/100, com sistema operacional Windows 7 64 Bits.

- 1 Kit PLC da TP-Link modelo TL-pa4010.
- 50 Metros de cabo de energia elétrica com bitola de 2,5 milímetros.
- 50 Metros de cabo de energia elétrica com bitola de 1,5 milímetros.
- 50 metros de cabo de energia elétrica com bitola de 1 milímetro.
- 50 metros de cabo de rede par trançado CAT5 E.
- 3 Tomadas e 2 Conectores RJ 45.

**Figura 3:** Materias utilizados para o experimento



Fonte: Autores

No primeiro micro foi instalado o *BwMeter* para realizar as medições de transferência e fazer a coleta das informações, os dois computadores estão compartilhados na mesma rede local, para realizar a transferência de arquivos entre eles.

Serão 5 transferências de um arquivo de 4GB de um micro para o outro, com o cabo de 50 metros, depois com 33 metros e por final com 17 metros.

O critério dos testes serão os mesmos, para os cabos, o que vai alterar e a bitola do cabo de energia elétrica, que serão de 1,0mm / 1,5mm e 2,00mm.

Logo depois faremos o mesmo teste com o cabo de rede, seguindo os mesmos critérios.

Todos os resultados serão anotados para formação de uma tabela e geração de gráficos comparativos.

O cabo de energia elétrica vai ser conectado ao dispositivo PLC, e vamos conectar o computador ao dispositivo PLC via cabo de rede. (10/100)

**RESULTADOS**

**Tabela 1:** Observamos nesta tabela, com bitola de 2,5mm, as variações das taxas de transferências, para o comprimento de 17, 33 e 50 metros.

17 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.5 MB/s	315.19 KB/s	6:06 minutos
Teste 2	11.5 MB/s	315.01 KB/s	6:06 minutos
Teste 3	11.4 MB/s	314.04 KB/s	6:06 minutos
Teste 4	11.5 MB/s	313.06 KB/s	6:05 minutos
Teste 5	11.5 MB/s	315.74 KB/s	6:05 minutos
Media	11.48 MB/s	314,60 KB/s	6:05 minutos

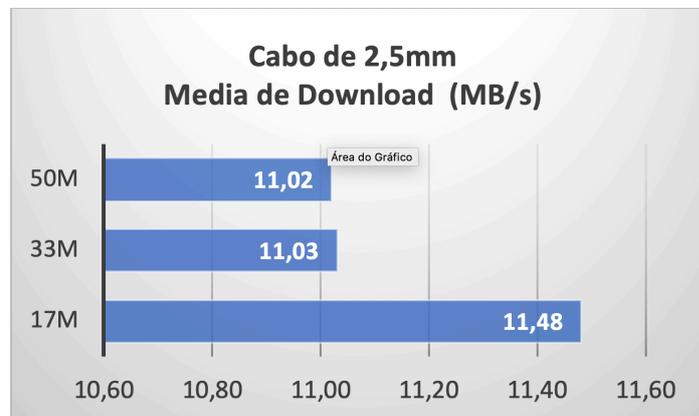
33 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11,2 MB/s	311,01 KB/s	6:09 minutos
Teste 2	11,3 MB/s	313,02 KB/s	6:08 minutos
Teste 3	11,3 MB/s	313,03 KB/s	6:08 minutos
Teste 4	11,4 MB/s	314,06 KB/s	6:09 minutos
Teste 5	11,3 MB/s	315,01 KB/s	6:08 minutos
Media	11,03MB/s	313,26 KB/s	6:08 minutos

50 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11,02 MB/s	312,03 KB/s	6:09 minutos
Teste 2	11,01 MB/s	312,04 KB/s	6:10 minutos
Teste 3	11,03 MB/s	313,08 KB/s	6:08 minutos
Teste 4	11,03 MB/s	312,08 KB/s	6:08 minutos
Teste 5	11,03 MB/s	312,06 KB/s	6:08 minutos
Media	11,02MB/s	312,25 KB/s	6:23 minutos

Fonte: Autores

**Figura 4:** Neste gráfico observamos a taxa média de download efetuada no cabo de 2,5 milímetros.



Fonte: Autores

**Tabela 2:** Observamos nesta tabela, com bitola de 1,5mm, as variações das taxas de transferências, para o comprimento de 17, 33 e 50 metros.

17 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.3 MB/s	311,02 KB/s	6:08 minutos
Teste 2	11.5 MB/s	312,05 KB/s	6:04 minutos
Teste 3	11.3 MB/s	313,45 KB/s	6:08 minutos
Teste 4	11.5 MB/s	314,05 KB/s	6:05 minutos
Teste 5	11.5 MB/s	314,04 KB/s	6:06 minutos
Media	11.04 MB/s	312,92 KB/s	6:06 minutos

33 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.05 MB/s	312,04 KB/s	6:06 minutos
Teste 2	11.03 MB/s	311,01 KB/s	6:08 minutos
Teste 3	11.03 MB/s	315,05 KB/s	6:08 minutos
Teste 4	11.04 MB/s	314,02 KB/s	6:07 minutos
Teste 5	11.04 MB/s	312,06 KB/s	6:07 minutos
Media	11,03MB/s	312,83 KB/s	6:07 minutos

50 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11,02 MB/s	290,84 KB/s	6:14 minutos
Teste 2	11,02 MB/s	310,02 KB/s	6:02 minutos
Teste 3	11,01 MB/s	302,02 KB/s	6:10 minutos
Teste 4	11,02 MB/s	298,02 KB/s	6:09 minutos
Teste 5	11,02 MB/s	301,05 KB/s	6:09 minutos
Media	11,01MB/s	300,39 KB/s	6:08 minutos

Fonte: Autores

**Tabela 3:** Observamos nesta tabela, com bitola de 1mm, as variações das taxas de transferências, para o comprimento de 17, 33 e 50 metros.

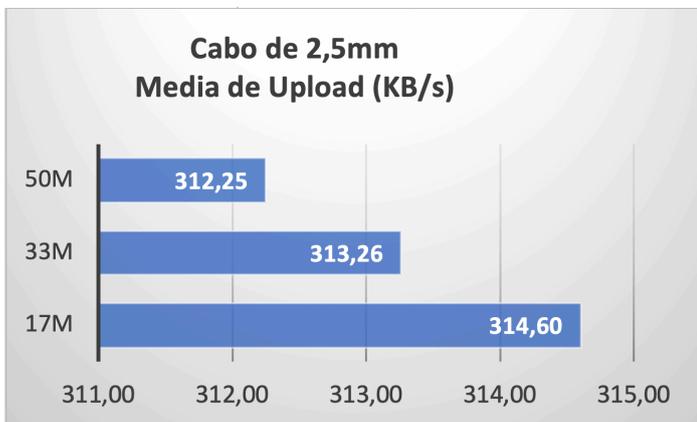
17 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.2 MB/s	230.16 KB/s	6:38 minutos
Teste 2	11.2 MB/s	231.07 KB/s	6:39 minutos
Teste 3	11.2MB/s	229.04 KB/s	6:39 minutos
Teste 4	11.2MB/s	280.06 KB/s	6:39 minutos
Teste 5	11.3 MB/s	290.06 KB/s	6:35 minutos
Media	11.02 MB/s	252,65 KB/s	6:38 minutos

33 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.0 MB/s	235,01 KB/s	6:31 minutos
Teste 2	11.0 MB/s	235,02 KB/s	6:31 minutos
Teste 3	11,2 MB/s	248,03 KB/s	6:30 minutos
Teste 4	11,1 MB/s	240,06 KB/s	6:39 minutos
Teste 5	11,2 MB/s	238,01 KB/s	6:33 minutos
Media	11,01MB/s	239,22 KB/s	6:32 minutos

50 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	11.0 MB/s	231,03 KB/s	6:38 minutos
Teste 2	11.1 MB/s	235,04 KB/s	6:40 minutos
Teste 3	10.90 MB/s	234,08 KB/s	6:44 minutos
Teste 4	11.0 MB/s	241,08 KB/s	6:39 minutos
Teste 5	11.0 MB/s	221,06 KB/s	6:37 minutos
Media	11 MB/s	232,45 KB/s	6:39 minutos

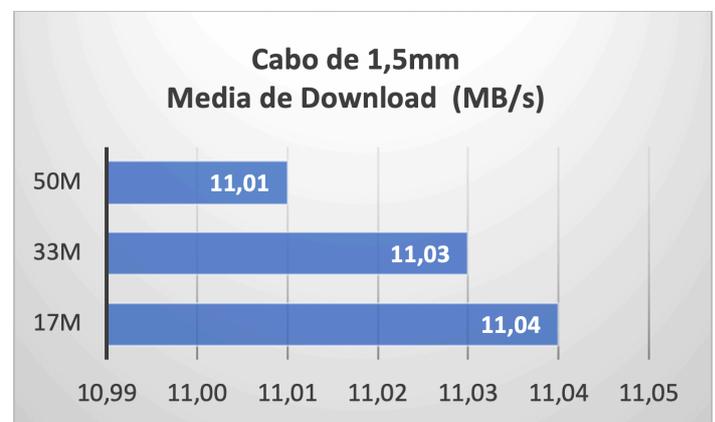
Fonte: Autores

**Figura 5:** Neste gráfico observamos a taxa média de upload efetuada no cabo de 2,5 milímetros.



Fonte: Autores

**Figura 6:** Neste gráfico observamos a taxa média de download efetuada no cabo de 1,5 milímetros.



Fonte: Autores

**Tabela 4:** Observamos nesta tabela, no cabo de rede CAT5e, as variações das taxas de transferências, para o comprimento de 17, 33 e 50 metros.

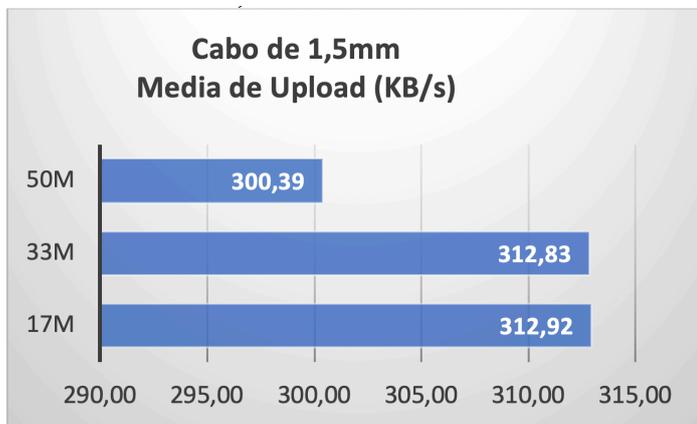
17 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	9.2 MB/s	253.4 KB/s	7:36 minutos
Teste 2	9.2 MB/s	252,3 KB/s	7:36 minutos
Teste 3	9.1 MB/s	243,3 KB/s	7:35 minutos
Teste 4	9.2 MB/s	248,6 KB/s	7:36 minutos
Teste 5	9.2 MB/s	254,3 KB/s	7:36 minutos
Media	9.18 MB/s	250,38 KB/s	7:35 minutos

33 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	9.1 MB/s	248.3 KB/s	7:42 minutos
Teste 2	9.2 MB/s	241.3 KB/s	7:41 minutos
Teste 3	9.0 MB/s	250.2 KB/s	7:45 minutos
Teste 4	9.0 MB/s	243.5 KB/s	7:43 minutos
Teste 5	9.1 MB/s	241.8 KB/s	7:41 minutos
Media	9. 08 MB/s	245,02 KB/s	7:42 minutos

50 Metros	Download	Upload	Tempo da transferência
Teste 1	9.0 MB/s	241.5 KB/s	7:48 minutos
Teste 2	8.9 MB/s	242.5 KB/s	7:54 minutos
Teste 3	9.0 MB/s	241.1 KB/s	7:49 minutos
Teste 4	9.1 MB/s	241.2 KB/s	7:49 minutos
Teste 5	8.9 MB/s	241.6 KB/s	7:56 minutos
Media	8.98 MB/s	241.58 KB/s	7:51 minutos

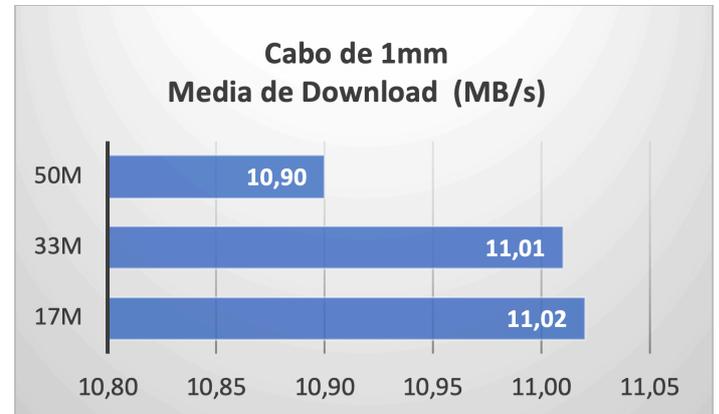
Fonte: Autores

**Figura 7:** Neste gráfico observamos a taxa média de upload efetuada no cabo de 1,5 milímetros.



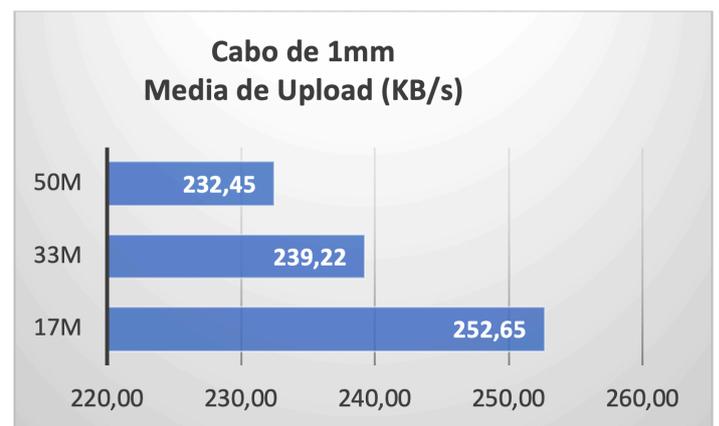
Fonte: Autores

**Figura 8:** Neste gráfico observamos a taxa média de download efetuada no cabo de 1 milímetros.



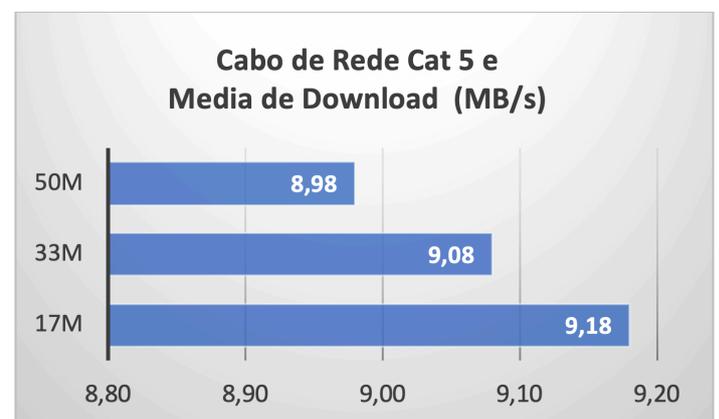
Fonte: Autores

**Figura 9:** Neste gráfico observamos a taxa média de upload efetuada no cabo de 1 milímetros.



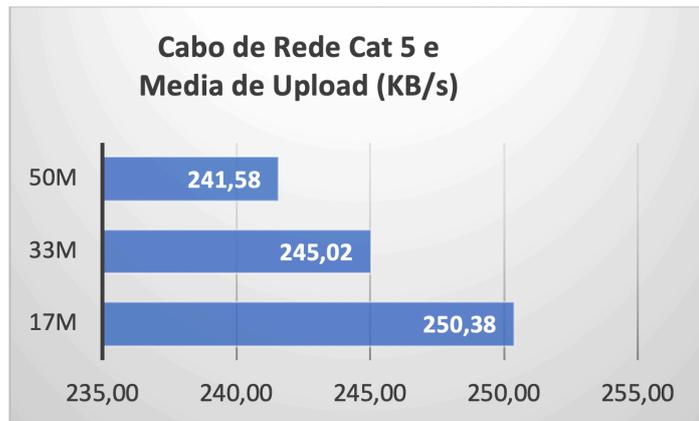
Fonte: Autores

**Figura 10:** Neste gráfico observamos a taxa média de download efetuada no cabo de rede CAT5e.



Fonte: Autores

**Figura 11:** Neste gráfico observamos a taxa média de upload efetuada no cabo de rede CAT5e.



Fonte: Autores

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se que não existe variação significativa das taxas medias de download quando se varia o comprimento e o diâmetro dos cabos de energia elétrica.

É possível observar uma variação mais significativa da taxa de upload quando o cabo apresenta bitola inferior a 1mm. O que nos leva a inferir que o diâmetro do cabo utilizado é fator mais relevante na perda de performance que o comprimento do cabo dentro dos intervalos utilizados no teste

É importante notar que as taxas de upload e download medidas nos testes com cabos de par transado categoria 5E são sempre inferiores as taxas obtidas nos testes com cabos de energia, independentemente das bitolas e comprimentos testados.

### CONCLUSÃO

Nesse artigo foi apresentado um estudo sobre o estado da arte da tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica para a transmissão de dados. Foram abordados seus principais conceitos para um maior entendimento do funcionamento dessa tecnologia.

Concluiu-se que a tecnologia PLC apresenta já grau de maturidade que permite sua utilização em ambiente de produção, apresentando resultados superiores as taxas obtidas no cabo par transado CAT5e, quando o diâmetro do cabo não for inferior a 1mm.

### REFERÊNCIAS

ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em <http://www.anatel.gov.br>. Acesso em 05 de junho de 2017.

CAMPISTA, M. E. M., **Uma Análise da Capacidade de Transmissão na Rede de Energia Elétrica Domiciliar**, Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBRT 2004, Belém, PA, 2004.

CAMPOS, A. L. P. S., ARAÚJO, L. M. e MOREIRA, R. C. O., **Investigação Experimental da Vazão de uma Rede Local de Computadores Homeplug 1.0**. Revista Holos, Ano 22, Dezembro de 2006, pp. 37 – 46.

CAMPOS, P. de S., WANDERLEY, A. L. F. e BIONDI, A. C. B. **Análise experimental da Influência da Tecnologia Homeplug na Qualidade da Energia elétrica**. Revista Holos, v2, 2007 pp. 31-41

COMER, D. E., **Redes de Computadores e Internet**, 2ª edição, Editora Bookman. Porto Alegre, Brasil, 2001.

FERREIRA, H. C.; et al, **Power line communications: an overview**, 4th IEEE Africon Conference, África, 1996.

GÖTZ, M., RAPP, M. e DOSTERT, K., **Power Line Channel Characteristics and Their Effect on Communication System Design**. IEEE Communications Magazine. APRIL 2004

Leonardi, Marcel. **Responsabilidade civil dos provedores de serviços de internet**. Editora Juarez de Oliveira, 2005, pp 10 – 23.

KUROSE, J. e ROSS, K. **Redes de Computadores e a Internet**, Addison Wesley 2003. 68 p.

LIN, Y. et al, **A comparative performance study of wireless and power line networks**. IEEE Communications Magazine. April, 2003.

MAJUMDER, A. e CAFFERY, J. Jr. **Power line communications: an overview**. IEE Communications Magazine. OCTOBER/NOVEMBER 2004.

MENDES, D. R. **Redes de computadores Teoria e Prática**. Editora Novatec, 2007. 12 – 20 p.

ROSS, J. **Redes de Computadores**, Editora Antenna 2008. 45 – 56 p.

SOUZA, L. B. **Redes de computadores: Dados, Voz e Imagem**. São Paulo: Érica, 1999.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**: tradução (ds 3. ed. original). Rio de Janeiro: Campus, 1997. 54 p.

TORRES, Gabriel. **Redes de Computadores – Curso Completo**. Rio de Janeiro: Axcel Books 2001. 14 – 21 p.