

## **Power Line Communication: Análise de Desempenho de uma Rede Doméstica com Adaptadores padrão homeplug AV**

### **Power Line Communication: Performance Analysis of a Home Network with homeplug AV Adapters**

DOI:10.34117/bjdv7n4-431

Recebimento dos originais: 16/03/2021

Aceitação para publicação: 16/04/2021

#### **André Kazuo Horota**

André Kazuo Horota, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil,  
E-mail: kazuohorota@gmail.com

#### **Saulo Correa Peixoto**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Jequié, Bahia, Brasil,  
E-mails: saulopeixoto@hotmail.com

#### **Robson Hebraico Cipriano Maniçoba**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Jequié, Bahia, Brasil  
E-mail: robsonhcm@gmail.com

#### **Eudes Diônatas Silva Souza**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Jequié, Bahia, Brasil  
E-mail: eudesdionatas@gmail.com

#### **Alexandre Maniçoba de Oliveira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo (IFSP)  
E-mail: amanicoba@ifsp.edu.br

#### **Alex Ferreira dos Santos**

Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Feira de Santana, Bahia, Brasi.  
E-mail: alex.ferreira@ufrb.edu.br

#### **Alexandre Jean René Serres**

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba  
E-mail: alexandreserres@dee.ufcg.edu.br

#### **RESUMO**

Com o aumento do número de usuários da Internet, muito por conta da inclusão digital, faz-se necessário encontrar a melhor maneira possível de se prover tal serviço. Entre todas as formas de transmissão de dados, a PLC (*Power Line Communication*), é a que mais tem se destacado nos últimos anos, devido principalmente a sua infraestrutura, que permite atender usuários de regiões semi-urbanas ou até mesmo rurais, e pelo fato de garantir altas taxas de velocidade (até 200 Mbps), através da PLC de banda larga, a BPL (*Broadband Power Line*), que utiliza o padrão *HomePlug AV*. Porém, pelo fato da infraestrutura utilizada ser as linhas de energia, a PLC está sujeita a inúmeros problemas, tais como interferências, ruídos e atenuações. Logo, existe a necessidade de

se avaliar o desempenho desta tecnologia de banda larga no tocante a sua utilização em ambientes domésticos, analisando sua eficácia em meio à interferência elétrica. Este trabalho apresenta uma análise do desempenho de uma rede PLC que utiliza o padrão *HomePlug AV*, com o objetivo de avaliar a sua viabilidade em um ambiente doméstico, visto que o mesmo apresenta vários desafios para esta tecnologia

Esde

**Palavras-Chave:** Transmissão de dados, Power Line Communication (PLC), Broadband Power Line (BPL).

## ABSTRACT

With the increase in the number of Internet users, due to digital inclusion, it is necessary to find the best possible way to provide this service. Among all forms of data transmission, PLC (Power Line Communication) is the one that has stood out the most in recent years, mainly due to its infrastructure, which allows users in semi-urban or even rural regions, and by the fact of ensuring high speed rates (up to 200 Mbps), through the broadband PLC, the BPL (Broadband Power Line), which uses the HomePlug AV standard. However, because the infrastructure used is the power lines, PLC is subject to numerous problems, such as interference, noise and attenuation. Therefore, there is a need to evaluate the performance of this broadband technology with regard to its use in domestic environments, analyzing its effectiveness amidst electrical interference. This paper presents an analysis of the performance of a PLC network that uses the HomePlug AV standard, with the objective of evaluating its viability in a domestic environment, since it presents several challenges for this technology

Esde

**Keywords:** Data Transmission, Power Line Communication (PLC), Broadband Power Line (BPL).

## 1 INTRODUÇÃO

**D**esde o advento da Internet até a atualidade, pesquisadores da área de Telecomunicações tem buscado encontrar novas tecnologias que venham à facilitar a transmissão da informação de forma rápida, eficiente e para o maior número de usuários. Entretanto, uma das maiores dificuldades encontradas na literatura está no alto custo de implantação de determinadas tecnologias, principalmente no tocante a sua infraestrutura. Logo, começou-se a buscar tecnologias com baixo custo de infraestrutura e implantação.

Atualmente, é possível encontrar diversos serviços que podem ser implementados em redes locais e oferecem acesso à Internet banda larga em ambientes domésticos, a exemplo de xDSL, Internet via rádio, fibra óptica, Wi-Fi, via satélite, dentre outras 1. Essas tecnologias de redes podem ser classificadas em três tipos: com fio, sem fio e “sem novos fios” 2. Nos últimos anos, tem sido dada bastante atenção a solução “sem novos fios”, onde a ideia básica é utilizar os fios de uma infraestrutura já existente como forma de compartilhamento dos dados. A tecnologia PLC (*Power Line Communication*) é um

grande exemplo de uma solução “sem novos fios”, pois utiliza-se dos fios de cobre (ou alumínio) das redes elétricas de baixa e média tensão como meio de compartilhamento de dados e recursos, chegando a taxas de até 200 Mbps 3.

Apesar de ainda ser pouco difundido no Brasil, é possível encontrar na literatura diversos trabalhos sobre esta tecnologia, que utiliza o meio elétrico para a transmissão de informação 4-7. A grande maioria destes trabalhos aborda o padrão *HomePlug*, criado pela *HomePlug Powerline Alliance*, e limitam-se a realizar testes de desempenho do protocolo. Em outros casos, é realizada apenas a análise do padrão *HomePlug 1.0* 5, criado em 2001, que devido a sua baixa capacidade de transmissão, e ao advento de novas versões, acabou tornando-se obsoleto.

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de uma rede doméstica PLC que utilizam o padrão *HomePlug AV*, estabelecido em 2005 pela *HomePlug Powerline Alliance*, onde, ao contrário do seu antecessor (*HomePlug 1.0*), caracteriza-se por uma alta taxa de transmissão de dados (até 200 Mbps). De forma mais específica, este trabalho visa avaliar o desempenho destas redes em relação a distância entre os dispositivos que a compõe, calculando a quantidade de dados trafegados, dentre outros parâmetros, e em função da interferência causada por outros objetos na rede, analisando a vazão das mesmas.

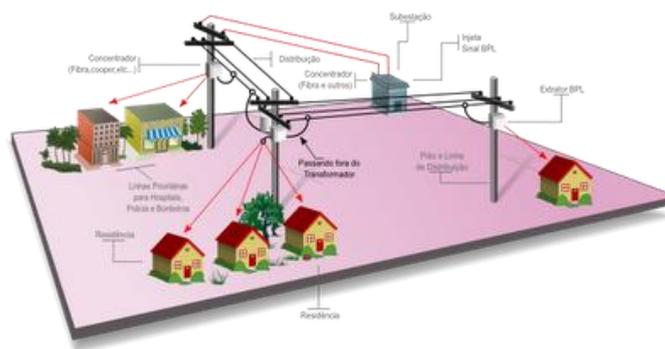
## 2 Power Line Communication (PLC)

A tecnologia PLC (*Power Line Communication*), ou Comunicação via linhas de energia, se baseia na modulação de sinais de telecomunicações através da rede elétrica 6. Essa foi desenvolvida inicialmente observando-se alguns equipamentos existentes que geravam sinais modulados na rede elétrica. Os liquidificadores antigos, por exemplo, quando utilizados geravam modulações e ruídos que podiam ser identificadas no canal elétrico, causando interferência em outros aparelhos elétricos como sistemas de som ou televisores. Tais aparelhos antigos recebem eletricidade para o rotor de seus motores por carvões, gerando atrito, através do qual centelhas acabam introduzindo sinais modulados na rede elétrica. Estes sinais não são uniformes e sua frequência é muito próxima da velocidade de giro do motor, tal como as frequências harmônicas. Logo, como não existem controladores para os níveis de modulação e filtros que possam impedir a sua propagação, o sinal é conduzido pelos fios elétricos aos demais equipamentos próximos a ele 7.

Com base nesse fenômeno, foi desenvolvida uma tecnologia cuja transmissão dos

sinais é realizada de maneira controlada, com frequências distintas das utilizadas por outros equipamentos e pela rede elétrica. Esta tecnologia, o PLC, tem sido denominada atualmente de *Broadband Power Line* (BPL) ou Banda larga via linhas de energia (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os sistemas que utilizam o BPL atuam numa faixa de 1,6 a 30 MHz, com taxas de até 200 Mbps.

Fig. 1. Sistema de Distribuição BPL 8.



O princípio essencial dessa tecnologia é baseado na frequência do sinal elétrico, que é muito menor que do sinal modulado, visto que opera na faixa de 50 a 60 Hz. Ambos podem coexistir harmonicamente no mesmo canal sem que ocorra perda de informações.

A tecnologia PLC opera na camada de enlace do modelo OSI (*Open System Interconnection*), camada que interliga um nó a outro, ou seja, o caminho que os dados percorrerão desde sua origem até seu destino final. Esta pode vir a ser acoplada a redes TCP/IP. Além de possuírem agentes SNMP (*Simple Network Management Protocol*), protocolo responsável pelo gerenciamento da rede, para que seja possível monitorar e controlar a mesma, as PLC's também conseguem diferenciar pacotes TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*).

O funcionamento da tecnologia PLC se baseia em técnicas de modulação, que é o processo onde um sinal é modificado para que ele possa ser transmitido por um determinado canal, e em métodos de acesso, que definem o modo como uma estação deverá acessar o meio para enviar alguma informação. Como apresentado em 10, entre as principais técnicas de modulação podemos citar a OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) e a GMSK (*Gaussian Minimum Shift Key*). O Espalhamento Espectral (*Spread Spectrum*), embora é uma técnica de codificação, também é utilizado pelas PLC's. Entre os principais métodos de acesso, temos o CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) e o CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

É importante ressaltar também que o BPL, foco deste trabalho, utiliza os padrões IEEE 802.3, mais precisamente o padrão IEEE 802.3u (*Fast Ethernet*) e o padrão *HomePlug AV*. O conjunto de padrões IEEE 802.3 traz diversas especificações a respeito da camada física e da subcamada MAC (*Media Access Control*) da camada de enlace. O padrão *HomePlug AV* também traz diversas definições acerca do método de acesso ao meio, da camada física, dentre outros.

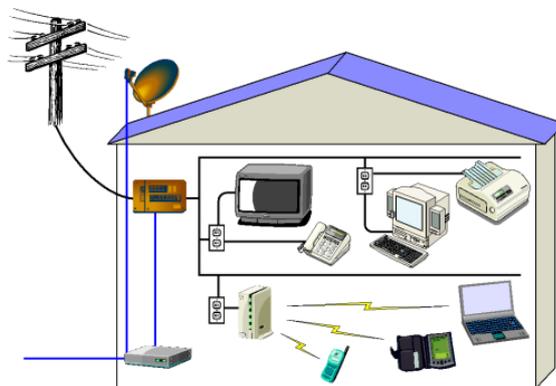
### 3 Tipos de PLC

De acordo com a literatura, podemos dividir o PLC em dois tipos: quanto a frequência e quanto a localização.

Nas PLC's quanto a frequência temos a PLC de banda larga e banda estreita. A primeira utiliza grandes faixas de frequência, que variam de 1,6 a 30 MHz, possuindo uma alta taxa de transmissão. Este tipo de PLC, ou BPL como é comumente chamado, é o mais estudado atualmente devido a sua utilização para o acesso à Internet de alta velocidade. Já a PLC de faixa estreita utiliza uma faixa de frequência menor que a anterior, que variam de 0,1 a 0,9 kHz, onde possui uma taxa de transmissão menor que 1 Mbps. É comumente utilizada em áreas de gestão de energia, automação, medição remota, etc.

Nas PLC's quanto a localização temos a PLIC (*Power Line Indoor Communication*) e a PLOC (*Power Line Outdoor Communication*). A primeira é utilizada para a criação de uma rede local, onde todas as tomadas se tornam pontos de conexão para a rede (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Fig. 2. Exemplo de uma PLIC 11.



A segunda é destinada para redes entre subestações de energias e redes residenciais. Nas PLOC existe o papel do Master, que tem a função de controlar e repetir

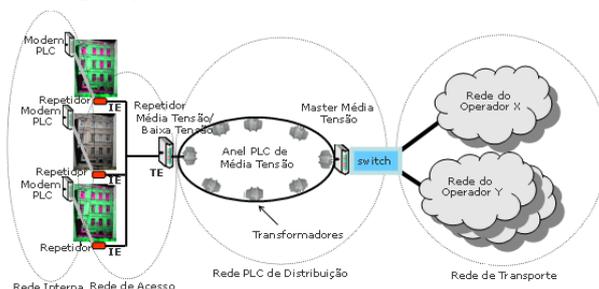
o sinal transmitido, sendo conectado às distribuições primárias ou secundárias. A **Erro!**  
**Fonte de referência não encontrada.** ilustra um exemplo de uma configuração típica do  
PLC.

Fig. 3. Exemplo de uma configuração típica do PLC 12.



A tecnologia BPL utiliza o PLOC para o acesso de banda larga à Internet. Para isso, é preciso que um modem BPL esteja ligado à rede elétrica para que se tenha acesso à Internet de alta velocidade. Vale ressaltar que tanto nas PLOC quanto nas PLIC todas as tomadas podem ser utilizadas como pontos de acesso. A diferença básica da PLOC e PLIC é a forma como é realizado o controle, ligação dos equipamentos e a transmissão dos dados. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra uma topologia típica do PLC, mostrando toda a sua distribuição.

Fig. 4. Topologia típica do PLC, mostrando toda a sua distribuição 13.



#### 4 VANTAGENS

Uma das maiores vantagens desta tecnologia, com relação as demais formas de transmissão de dados, é sem dúvida a sua infraestrutura básica já existente e em constante utilização, a rede elétrica. Além disso, socialmente falando a PLC pode vir a garantir também a democratização dos meios de se transmitir informação 14. Os pontos de energia (tomadas) podem ser utilizados como pontos de rede, basta somente conectar um equipamento específico, geralmente um modem, que a rede de dados se tornará disponível para os usuários. O BPL também suporta altas taxas de transmissão, chegando a até 200 Mbit/s utilizando faixas de frequência que variam de 1,6 a 30 MHz.

Segundo Santos 10, o aumento da inclusão digital é mais uma opção de serviço de acesso à banda larga. Estas são outros pontos positivos desta tecnologia, visto que a implantação da mesma pelos países interessados tende a aumentar a competitividade no fornecimento de redes de acesso à Internet, gerando um número cada vez mais alto de usuários. Na Europa, por exemplo, cerca de 60 experimentos com o PLC, em 26 países, resultaram em 12 implantações comerciais em diferentes regiões, onde todas validaram e confirmaram o sucesso destes testes.

É importante ressaltar também que os custos dos equipamentos utilizados pelo

PLC têm sofrido grande redução, muito por conta do desenvolvimento do mercado desta tecnologia. Desta forma, é possível afirmar que o PLC é altamente competitivo economicamente, se comparado as demais tecnologias de acesso à banda larga 15, 16. Grande parte das empresas que estão à frente das iniciativas acerca do PLC possuem bastante importância e peso no mercado, o que garante uma visão de longo prazo aos negócios e muita confiança dos usuários potenciais no crescimento desta tecnologia.

## 5 Desvantagens

A principal desvantagem do PLC está diretamente ligada a rede de energia elétrica. Isso se deve ao fato que qualquer ponto de energia pode causar interferência, ou seja, qualquer equipamento ligado a tomada que esteja utilizando energia, pode vir a comprometer o correto funcionamento da rede PLC. A solução para este problema, no entanto, é bastante simples. Para Orlando César de Oliveira, coordenador do empreendimento PLC da COPEL (Companhia Paranaense de Energia), a instalação de filtros nas tomadas e disjuntores da casa reduz bastante o problema. Ainda segundo as regras da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), antes de se começar uma operação comercial, as empresas interessadas devem analisar a área a fim de verificar se existem conflitos entre os sistemas de comunicações 14.

A falta de um meio de transmissão de dados de baixo custo ainda é um forte empecilho no tocante a ampla disseminação do acesso à Internet. Até pouco tempo, grande parte das empresas públicas e privadas estiveram focadas na criação de uma grande infraestrutura de comunicação, através da utilização de vias de dados de grande porte, os *Backbones*. Porém, encontrou-se uma maneira mais prática, a *last mile* (última milha), que se baseia no fato de conectar, individualmente, cada usuário doméstico ou empresa a um *backbone* principal, utilizando infraestruturas já existentes. No entanto, além de serem relativamente caros, esses meios se concentram em zonas urbanas, o que acaba por excluir as casas localizadas em regiões mais afastadas.

## 6 Desafios

Como qualquer outra tecnologia, a utilização do PLC possui diversos empecilhos que, se não forem corretamente solucionados, podem vir a comprometer seriamente o seu funcionamento. Os principais desafios enfrentados pelo PLC são: ruídos, atenuação, impedância da rede e interferência.

Diversos equipamentos, quando conectados à rede elétrica tendem a causar ruídos

em forma de impulso no canal de transmissão. Os ruídos síncronos geralmente são provocados por *dimmers*, dispositivos utilizados para variar a corrente elétrica média em uma carga. Uma lâmpada, por exemplo, quando ligada em brilho médio, gera diversos impulsos de dezenas de volts no canal de transmissão. Outro tipo de ruído existente é o tonal, que pode ser não intencional, gerado por fontes de alimentação chaveadas presentes em computadores, carregadores, e intencional, que é causado por intercomunicações que utilizam a rede elétrica, como por exemplo, as babás eletrônicas. Já os ruídos de alta frequência são tipos de ruídos gerados por aparelhos que possuem motor universal, tais como barbeadores, aspiradores ou outros eletrodomésticos. Estes injetam impulsos da ordem de milhares de pulsos por segundo na rede de transmissão. Por fim, existem os ruídos por capacitores que são causados pelo ato de ligar ou desligar aparelhos eletrônicos, pois estes possuem capacitores para corrigir o fator de potência dos mesmos, o que faz gerar ruídos dos mais variados tamanhos.

Outro desafio enfrentado pelo PLC, principalmente os que utilizam transmissões em alta velocidade, é a atenuação. Este problema é geralmente associado tanto com a frequência do sinal como também pela distância que o mesmo percorre. A atenuação sofrida pelo sinal ao longo do seu trajeto varia de acordo com a topologia, estado de conservação das linhas de distribuição, quantidade de conexões, e pode afetar consideravelmente o desempenho das PLC's. Os transformadores da rede elétrica, apesar de permitirem a passagem quase que completa da corrente alternada a 50 ou 60 Hz, atenuam de forma considerável os sinais de alta frequência. É importante ressaltar também que não é indicado ligar os equipamentos PLC em estabilizadores ou filtros de linha, visto que os mesmos bloqueiam sinais de alta frequência.

A impedância da rede é outro grande desafio enfrentado pela tecnologia PLC. Essa pode ser definida como a transferência de energia entre dois meios. No que diz respeito a rede elétrica, graças à existência da atenuação, é comum que o transmissor do modem insira na rede o nível máximo de tensão permitido. Porém, é sabido que a potência de transmissão é facilmente calculada e varia de forma inversa com a impedância do canal. Logo, podemos afirmar que a impedância influencia de forma significativa na transmissão dos dados 17. O descasamento de impedância faz com que haja a reflexão do sinal transmitido, ocasionando na diminuição do sinal original.

Por fim, a interferência ainda é uma das maiores desvantagens desta tecnologia e talvez seja o maior desafio enfrentado pelo PLC atualmente. Esta pode ser causada de duas maneiras: por outros sistemas que utilizem o mesmo espectro que esta tecnologia,

ou por outros usuários que estejam utilizando a PLC. A primeira forma de interferência está relacionada com os limites de potência que um sistema regulador deveria determinar para a PLC, apesar de que nos EUA e em alguns países europeus, já existem regras de controle de limites de emissão, porém o mesmo não ocorre no Brasil. A segunda forma de interferência está relacionada com a redução do espectro disponível para cada usuário, graças a interferência gerada por outros PLC's. Este fato tende a ocasionar na diminuição da taxa de transmissão. Logo, podemos afirmar que uma análise prévia dos níveis de sinais nas regiões onde será implantado o sistema é de demasiada importância para o correto funcionamento do produto.

## 7 METODOLOGIA

O cenário deste trabalho está dividido em três etapas de testes. Na primeira etapa será realizada uma análise completa do funcionamento de uma rede PLC, onde serão analisados principalmente a quantidade de dados trafegados e o número de pacotes transmitidos, levando-se em conta a distância entre dois dispositivos. Na segunda etapa será medida a vazão da rede, considerando a distância entre os equipamentos e as taxas de transmissão em determinados momentos da transferência. Na terceira e última etapa será medida novamente a vazão da rede, porém desta vez considerando a distância entre dois dispositivos e também a interferência causada pelos demais equipamentos domésticos.

Para a realização do primeiro teste foram utilizados a versão Demo do software *Capsa 7 Packet Analyser*, da Colasoft, dois mini-adaptadores Powerline AV200, da TP – LINK, e um Notebook. E para a segunda etapa e terceira etapa foram utilizados três mini-adaptadores Powerline AV200, o software *Capsa 7 Packet Analyser* e três Notebooks.

## 8 PRIMERA ETAPA

Nessa etapa a rede foi formada por três dispositivos: um adaptador PLC, ligado na tomada e conectado a um roteador (permitindo acesso à Internet através da corrente elétrica), outro adaptador PLC, também ligado na tomada, e conectado ao Notebook 1, garantindo ao mesmo o acesso a rede e à Internet. O primeiro dispositivo PLC permaneceu no mesmo lugar durante todo o tempo de realização dos testes, já o segundo foi testado em diversas tomadas da residência, tendo como objetivo avaliar o desempenho da rede baseando-se na distância entre os dois adaptadores. A distância estimada entre os dispositivos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Distância estimada entre os adaptadores PLC.

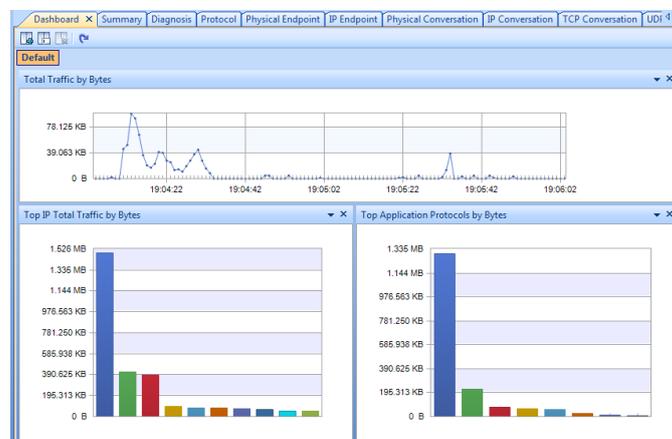
Etapa de testes	Distância estimada entre os adaptadores*
Teste n° 1	Entre 0 e 5 metros
Teste n° 2	Entre 5 e 10 metros
Teste n° 3	Entre 15 e 20 metros
Teste n° 4	Entre 20 e 35 metros

\*A distância considerada nos testes foi a distância elétrica (através dos fios de energia) entre cada tomada, e não a distância física.

Dentre todos os dados analisados pelo *Capsa 7 Packet Analyser*, foram considerados neste trabalho os que mais sofreram influência da distância entre os equipamentos, foram eles: a quantidade total de dados trafegados, o tamanho médio e a quantidade de pacotes transmitidos. É importante ressaltar que durante todos os testes o computador 1 executou apenas o software *Capsa 7 Packet Analyser*, possibilitando uma análise homogênea.

Na Fig. 5, podemos observar a aba Dashboard do *Capsa 7 Packet Analyser*, durante um dos testes realizados, onde são exibidos gráficos e estatísticas que proporcionam uma visão geral do fluxo de dados que trafega pela rede.

Fig. 5. Aba Dashboard do Capsa 7 Packet Analyser.



Na

Fig. 6, temos a imagem da aba Summary, onde são mostradas estatísticas gerais da rede, tais como número de pacotes, tráfego total, tamanho médio dos pacotes, etc. Os dados analisados durante esta etapa de testes foram coletados a partir desta aba.

Fig. 6. Aba Summary do Capsa 7 Packet Analyser.

Statistics Item	Current Value				
<b>Alarm</b>	Trigger Count				
Security	0				
Performance	0				
Fault	0				
<b>Diagnosis Statistics</b>	Count				
Information Diagnosis	331				
Notice Diagnosis	19				
Warning Diagnosis	26				
Critical Diagnosis	0				
<b>Traffic</b>	Bytes	Packets	Utilization	Bits Per Second	Packets Per Se...
Total	1.770 MB	4.637	0.085%	1.696 Kbps	1
Broadcast	32.333 KB	307	0.000%	0 bps	0
Multicast	293.467 KB	1.339	0.085%	1.696 Kbps	1
Average Size	400.246 Bytes				
<b>Packet Size Distribution</b>	Bytes	Packets	Utilization	Bits Per Second	Packets Per Se...
<=64	75.634 KB	1.299	0.000%	0 bps	0
65-127	92.133 KB	1.102	0.000%	0 bps	0
128-255	167.534 KB	866	0.085%	1.696 Kbps	1
256-511	67.504 KB	188	0.000%	0 bps	0
512-1023	168.435 KB	285	0.000%	0 bps	0
1024-1517	387.331 KB	321	0.000%	0 bps	0
>=1518	853.875 KB	576	0.000%	0 bps	0

## 9 SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa foi implementada uma rede entre dois Notebooks (Notebook 1 e 3), onde cada um deles foi conectado a um adaptador PLC, e um terceiro adaptador foi ligado à um roteador, garantindo aos dispositivos da rede o acesso à Internet. Após implementar a rede PLC, foi criado um servidor FTP (*File Transfer Protocol*) para que fosse possível a transferência de arquivos de um Notebook para outro. Para criar o servidor FTP, foi necessário habilitá-lo no Notebook 1, através do IIS (*Internet Information Services*) da Microsoft.

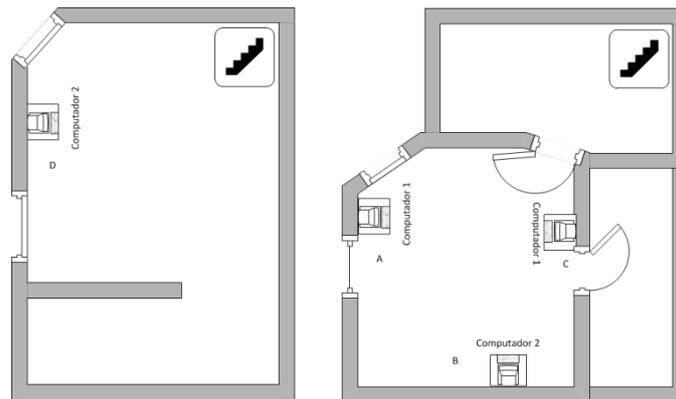
Com o servidor FTP criado e em execução, foi transferido um arquivo de 6.897.416.192 bytes do Notebook 1 para o Notebook 3. Essa transferência foi realizada 3 vezes, mudando, em cada teste, a distância entre os dois computadores, como mostra a Tabela 2. A Fig. 7 apresenta a rede implementada.:

Tabela 2. Distância aproximada entre os computadores.

Etapa de testes	Distância entre os computadores*
Teste nº 1	Aproximadamente 7,25 metros
Teste nº 2	Aproximadamente 8 metros
Teste nº 3	Aproximadamente 18,75 metros

\*A distância considerada nos testes foi a distância elétrica (através dos fios de energia) entre cada tomada, e não a distância física.

Fig. 7. Rede implementada para os testes.



Os testes realizados seguiram a seguinte estrutura:

- Teste nº 1: Do ponto A para o ponto B.
- Teste nº 2: Do ponto B para o ponto C.
- Teste nº 3: Do ponto C para o ponto D.

Durante o período de transferência de cada teste, foi calculada, de 5 em 5 minutos, a taxa de transferência do arquivo, através do software *Capsa 7 Packet Analyser*, a fim de observarmos a variação da mesma em função da vazão final da rede. Ao final da transferência, foi calculada a vazão da rede, através da seguinte fórmula:

Vazão (Mbps) =  $8 \times (\text{Tamanho do arquivo em Megabytes} / \text{Tempo total de transmissão})$ .

Para calcular o tempo total da transmissão e as taxas nos intervalos de tempo, foi utilizado o software *Capsa 7 Packet Analyser*. Em todos os três testes foram calculados a vazão da rede e as taxas de transferência em intervalos de 5 em 5 minutos.

## 10 Terceira Etapa

Na terceira e última etapa de testes foi novamente calculada a vazão da rede, porém desta vez levou-se em conta não somente a distância entre os Notebooks, mas também a interferência causada pelos demais aparelhos domésticos. Foi utilizada a mesma rede implementada na segunda etapa, porém desta vez entre os Notebooks 1 e 2. Também foi considerada a mesma distância entre os dispositivos, como foi possível observar na Tabela 1.

A principal diferença entre a terceira e a segunda etapa foi a quantidade de testes, visto que nesta etapa foram realizados dois testes para cada distância, um considerando o ambiente normal e outro o ambiente com a presença de interferência. Os objetos causadores de interferência utilizados nesta etapa de testes são apresentados na

**Tabela 3**, juntamente com a potência de cada um deles:

Tabela 3. Lista dos objetos causadores de interferência.

Objetos	Potência (Watts)
Monitor TV LG 21"	30 W
Ventilador Mondial	5 W
Playstation 3	230 W
Televisor Phillips 29"	110 W
Geladeira	130 W
Máquina de Lavar	500 W
Computador/Impressora/Estabilizador	180 W
1 Lâmpada Incandescente	60 W
2 Lâmpadas Fluorescentes	46 W

Nos testes do ambiente normal, estavam ligados somente os Notebooks 1 e 2. Já nos testes do ambiente com interferência, todos os aparelhos listados acima estavam ligados e em funcionamento. O arquivo, com tamanho de 6.897.416.192 bytes (cerca de 6.42 GB), foi transferido através do mesmo servidor FTP da etapa anterior e o tempo de transferência foi calculado pelo software *Capsa 7 Packet Analyser*. Após o término de cada teste, foi calculada a vazão da rede, utilizando a mesma fórmula da segunda etapa. Os resultados encontrados nas três etapas de testes serão apresentados na próxima seção.

## RESULTADOS

### 11 Primeira Etapa de Testes

A Fig. 8 ilustra os resultados obtidos a partir da análise utilizando o software *Capsa 7 Packet Analyser*. A Fig. 9 ilustra os resultados obtidos para o tamanho médio dos pacotes transmitidos. A Fig. 10 ilustra a quantidade de pacotes transmitidos durante a análise da rede feita pelo software *Capsa 7 Packet Analyser*.

Fig. 8. Tráfego total em bytes em função da distância entre os dois dispositivos.

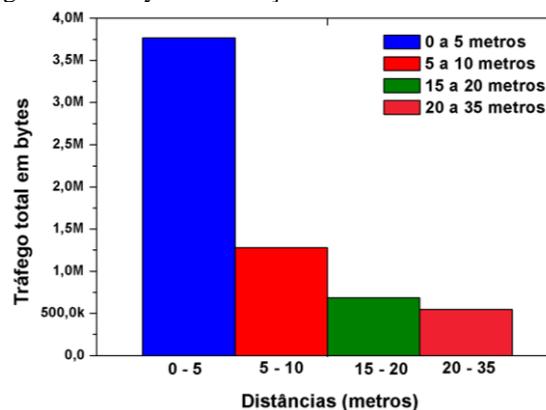


Fig. 9. Tamanho médio dos pacotes transmitidos em bytes.

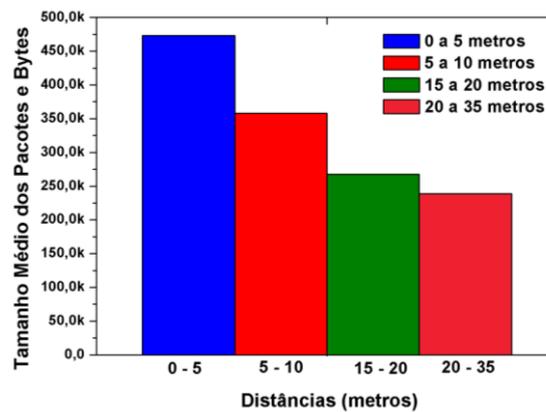
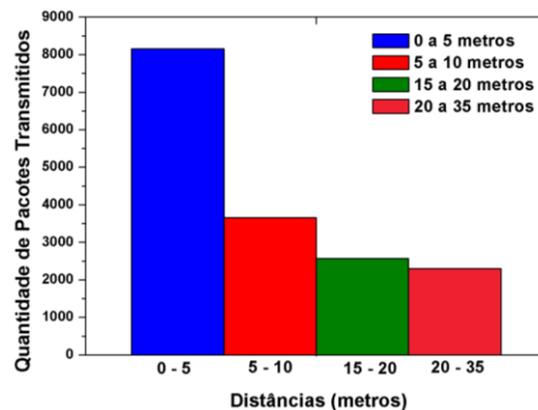


Fig. 10. Número de pacotes transmitidos.



Portanto, após a visualização dos resultados obtidos nesta primeira etapa de testes, foi possível perceber que a distância entre os dispositivos de uma rede PLC está diretamente ligada ao desempenho da rede. Quanto menor a distância entre dois ou mais dispositivos, maior será a quantidade de dados que irão trafegar nesta rede e maior será o número e o tamanho médio dos pacotes transmitidos. Entretanto, mesmo a distância sendo um fator importante para o desempenho de uma rede PLC, é possível afirmar que a mesma, mesmo apresentando tais resultados, possui considerável vantagem em relação a uma rede sem fio, por exemplo, onde a distância entre um roteador e um dispositivo é determinante para o desempenho favorável da rede.

## 12 SEGUNDA ETAPA DE TESTES

Nesta etapa foi realizado o cálculo da vazão da rede, tendo como base a distância entre os dispositivos. Desta forma, foram calculadas as taxas de transmissão em determinados intervalos de tempo (5 em 5 minutos) e comparadas com a vazão da rede. Para descobrir a taxa de transmissão em um dado momento da transferência foi utilizada a versão Demo do Software *Capsa 7 Packet Analyser* e para o cálculo da vazão, foi

utilizada a fórmula:  $Vazão = \text{tamanho do arquivo} / \text{tempo total de transmissão}$ .

Na Tabela 4, estão listadas as vazões encontradas em cada um dos três testes, assim como a distância entre os dispositivos.

Tabela 4. Vazão encontrada em cada situação de transmissão.

Situação de transmissão	Distância entre os dispositivos	Vazão (Mbps)
Situação 1	Aproximadamente 7,25 metros	40,079
Situação 2	Aproximadamente 8 metros	34,804
Situação 3	Aproximadamente 18,75 metros	31,739

Como pode ser observado, a situação de teste com a menor distância entre os dispositivos foi a que teve a maior vazão de dados. Porém, a vazão da situação 3 (aproximadamente 18,75 metros de distância) não foi tão inferior à da situação 1 (7,25 metros), apesar da diferença considerável entre as distâncias.

A Fig. 11 ilustra um gráfico da vazão final da situação 1 (7,25 metros) em função da variação nas taxas de transmissão ao longo da transferência. Como podemos observar a curva do gráfico, a taxa de transmissão apresenta um crescimento ao longo do tempo de transferência, atingindo a taxa mais alta (52,515 Mbps) no minuto 15°. Após esse pico, começa a apresentar uma queda até o fim da transmissão. A situação 1 foi a que apresentou as maiores taxas de transmissão e, conseqüentemente, o menor tempo de transferência. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa o gráfico da vazão final da situação 2 (aproximadamente 8 metros) em função da variação das taxas de transmissão da mesma. Por fim, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o gráfico da situação 3 (18,75 metros).

Fig. 11. Gráfico da situação 1.

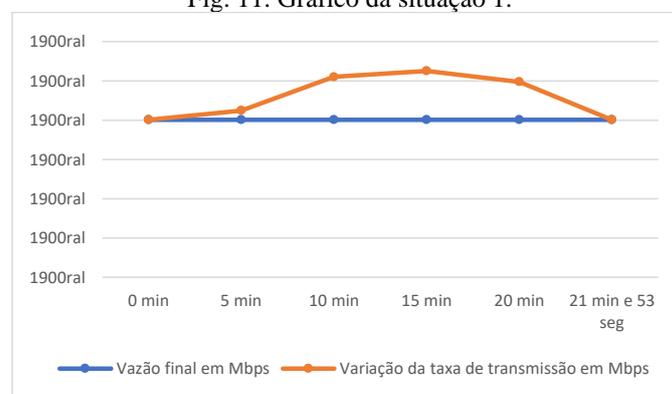


Fig. 12. Gráfico da situação 2.

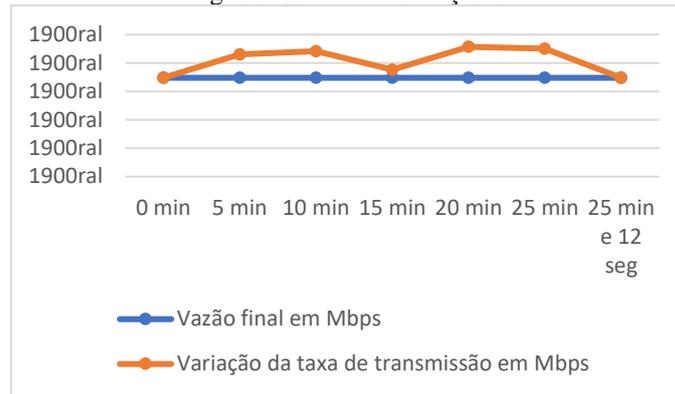
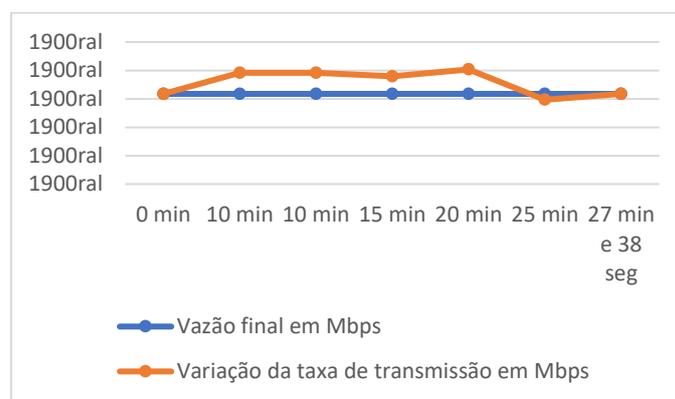


Fig. 13. Gráfico da situação 3.



Após analisarmos os resultados encontrados e os gráficos acima, podemos inferir que a distância entre os dispositivos não é um fator determinante para calcularmos a vazão da rede, visto que a mesma não variou tanto de uma situação para outra, apesar de apresentar algumas variações nas taxas de transferência, algo comum em qualquer tipo de transmissão.

### 13 TERCEIRA ETAPA DE TESTES

Na terceira etapa foram repetidos os testes de vazão, porém dessa vez foram consideradas não somente a distância entre os dispositivos, mas também a interferência de determinados objetos na rede elétrica (

Tabela 3).

A

tabela 5 apresenta os resultados obtidos após a realização dos testes de vazão da rede. Nesta, estão listados os valores de vazão para os ambientes normais e os ambientes com interferência de cada situação de testes, assim como a distância aproximada entre os dispositivos.

tabela 5. Comparação entre a vazão da rede em ambientes normais e ambientes com interferência.

Situação de transmissão	Distância entre os dispositivos (metros)	Vazão em ambiente normal (Mbps)	Vazão em ambiente com interferência (Mbps)
Situação 1	7,25 m aprox.	44,445	31,323
Situação 2	8 m aprox.	39,359	30,684
Situação 3	18,75 m aprox.	32,869	30,157

## 14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar o desempenho de uma rede PLC doméstica, utilizando o padrão *HomePlug AV*. Foram realizadas três etapas de testes, objetivando analisar a performance de uma rede PLC para uso doméstico. Para tanto foram considerados alguns fatores comuns em uma residência, como a distância entre os dispositivos da rede e, principalmente, a interferência que os demais aparelhos da casa causam na rede elétrica.

Com os resultados obtidos é possível afirmar que esta tecnologia ganha cada vez mais espaço em ambientes domésticos, não só por conta do desempenho apresentado, mas também se comparada aos demais tipos de rede. Além disso, oferece uma maior flexibilidade para os usuários, principalmente os que moram em zonas semi-urbanas e/ou zonas rurais.

## REFERENCES

- 1 G. M. Toschi, L. B. Campos e C. E. Cugnasca, "Home automation networks: A survey". *Computer Standards & Interfaces*, vol. 50, p. 42-54, 2017.
- 2 H. A. Muñoz, R. D. S. Baptista e A. Bauchspiess, "Análise de Redes de Comunicação não Invasivas para Retrofitting Predial". IX Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2009.
- 3 F. Hashiesh e P. Soukal, "A proposed broadband power line communication system for smart grid applications in a typical egyptian network". 17th Telecommunications forum TELFOR, 2009.
- 4 Y. Huo, G. Prasad, L. Lampe e V. C. Leung, "Efficient Access Control for Broadband Power Line Communications in Home Area Networks". *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, n. 4, p. 1649-1660, 2018.
- 5 A. Campos, R. C. Moreira e L. D. Araújo, "Análise de Desempenho de uma Rede de Computadores que Utiliza o Padrão Homeplug 1.0". *Revista IEEE América Latina*, vol. 5, p. 360-366, 2007.
- 6 Freitas, L. R. e Sousa, T. Avaliação de um Sistema Híbrido de Comunicação para Aplicação em Redes Inteligentes de Energia Elétrica. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 99901-99918, 2020.
- 7 Rabie, Khaled et al. IEEE access special section editorial: Advances in power line communication and its applications. *IEEE Access*, v. 7, p. 133371-133374, 2019.
- 8 Bolsoni, E. P., Cardoso, C., e Souza, C. H. M. D. Computação Ubíqua, Cloud Computing e PLC para Continuidade Comunicacional diante de Desastres. V Seminário Internacional de Defesa Civil-DEFENCIL, 2009.
- 9 Kurose, J. F. e Ross, K. W. *Redes de Computadores e a Internet*. São Paulo: Person, 28, 2006.
- 10 Santos, Túlio L. *Power Line Communications*. 2008. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008, Disponível em: < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/default.asp>>. Acesso em 23 de março. 2021.
- 11 Blog CCNA. Disponível em: < <https://plc2010.webcindario.com/index.php?m=08&y=10&entry=entry100818-150142>>. Acesso em 23 de março. 2021.
- 12 CEMIG, Companhia Energética Do Estado De Minas Gerais. Disponível em: < <http://www.cemig.com.br/plc/>>. Acesso em 23 de março. 2021.
- 13 TELECO, Disponível em: < [https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/pagina\\_3.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/pagina_3.asp)>. Acesso em 23 de março. 2021.
- 14 França, André M.; Lima, Carlos A. F.; Navas, José R. Silveira, Loreno M. A Tecnologia PLC: Oportunidade para os setores de Telecomunicações e Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialkbns/default.asp>>. Acesso em 23 de março 2021.
- 15 Tongia, Rahul. Can broadband over powerline carrier (PLC) compete? A techno-economic analysis. *Telecommunications Policy*, v. 28, n. 7-8, p. 559-578, 2004.
- 16 Lin, Y. J., Latchman, H. A., Lee, M., & Katar, S. A power line communication network infrastructure for the smart home. *IEEE wireless communications*, 9(6), 104-111, 2002.
- 17 Anatory, Justinian et al. The influence of load impedance, line length, and branches on underground cable power-line communications (PLC) systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 23, n. 1, p. 180-187, 2007.