

## **AVALIAÇÃO TÉCNICA E DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA PLC**

FABRICIO LEONARDO RIBEIRO<sup>1</sup>, RAFAEL GATTINO FURTADO<sup>1</sup>, STÉFANO FRIZZO STEFENON<sup>1</sup>,  
GRACIELA ALESSANDRA DELA ROCCA<sup>1</sup>, GABRIEL CONSTANTE CARVALHO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Planalto Catarinense - UNIPLAC

<ribfabricio@gmail.com> <rgattino@yahoo.com.br> <stefanostefenon@gmail.com>  
<gadrocca@uniplaclages.edu.br> <bilconstante@hotmail.com>  
DOI: <<https://doi.org/10.21439/conexoes.v14i3.1433>>

**Resumo.** O presente artigo tem como objetivo apresentar uma análise técnica sobre a tecnologia PLC (*Power Line Communication*) em ambientes indoor e suas principais características. Descreve os reais resultados desta tecnologia na prática apresentando as vantagens e desvantagens do seu uso no meio físico. Com o avanço desta tecnologia, podemos observar que o baixo custo para implementação vem tornando a tecnologia PLC uma excelente opção para muitas pessoas no uso doméstico da internet, portanto se utilizada em ambientes adequados é possível obter uma economia em energia elétrica significativa. Deste modo, os avanços desta tecnologia estão aumentando sua proteção contra interferências e ruídos na rede elétrica, fazendo com que se torne uma das tecnologias mais promissoras quanto ao uso de internet em ambientes residenciais. Com o intuito de viabilizar esta tecnologia, foi elaborada uma proposta de implementação no bloco de engenharias da UNIPLAC (Universidade do Planalto Catarinense), propondo um resultado semelhante a rede convencional cabeada, porém com um custo extremamente baixo para instalação e manutenção.

**Palavras-chaves:** PLC. Power Line Communication. Rede de Comunicação. Dados. Rede Elétrica.

**Abstract.** The present article aims to present a technical analysis on PLC (Power Line Communication) technology in indoor environments and its main characteristics. It describes the actual results of this technology in practice presenting the advantages and disadvantages of its use in the physical environment. With the advancement of this technology, we can observe that the low cost for implementation has made PLC an excellent option for many people in the domestic use of the internet, so if used in suitable environments is possible to achieve a significant energy savings. In this way, advances in this technology are increasing its protection against interference and noise in the mains, making it one of the most promising technologies in the use of internet in residential environments. In order to make this technology viable, an implementation proposal was prepared in the UNIPLAC engineering building (University of Planalto Catarinense), proposing a similar result to a conventional wired network, but with an extremely low cost for installation and maintenance.

**Keywords:** PLC. Power Line Communication. Communication Network. Data. Electrical Network.

### **1 INTRODUÇÃO**

A tecnologia PLC teve início em 1920 (ARCHANGELO, 2009) e possui soluções comerciais desde 2001, no entanto sua utilização para aplicações em Banda Larga teve um desenvolvimento um pouco recente. Em uma outra perspectiva, no parque industrial Norte Ame-

ricano, a tecnologia recebeu o nome *Broadband over Power Line* – BPL.

Embora se tenha falado muito sobre esta tecnologia em meados do ano 2000, no Brasil houve uma época que ela não passou dos testes: em 2001 com a Copel (Companhia Paranaense de Eletricidade), logo depois a Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais), por

fim a Eletropaulo (Elettricidade de São Paulo), todos os testes no mesmo ano (AMERICO et al., 2017).

Seu principal objetivo vem da possibilidade de compartilhar a estrutura de cabeamento da rede elétrica convencional com a transmissão de dados, evitando assim a necessidade de uma nova estrutura física guiada para transmitir estes sinais. O surgimento de novas tecnologias de transmissão sem fio de baixo custo, que se mostram tão promissoras quanto a PLC, dificultaram a maturidade deste modelo de transmissão, principalmente com grande complexidade envolvida no processo de transmissão de dados via rede elétrica.

Dessa forma, levanta-se uma questão de pesquisa: seria possível utilizar a rede elétrica como meio de transmissão de dados, proporcionando uma redução de custos de implantação?

Portanto, o presente artigo propõe o estudo da transmissão de dados através de rede elétrica utilizando a tecnologia indoor apresentando dados e resultados encontrados em testes de bancada.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Transmissão de dados via rede elétrica

Os sistemas *Powerline Carrier*, também chamados de Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão – OPLAT, vem sendo utilizadas por empresas que atuam no ramo de energia elétrica há muito tempo. Segundo Ross (2006), estes sistemas foram e ainda são utilizadas para a telemetria, controle remoto e comunicações de voz”. De acordo com o portal Teleco, em 1991, o Dr. Paul Brown, da Norweb Communications, realizou testes iniciais utilizando linhas de energia elétrica com o intuito de transmitir dados digitais em alta velocidade. No entanto, somente entre 1995 e 1997, que foram resolvidos os problemas de ruído na transmissão, e também como atenuar as interferências presentes na rede elétrica.

A partir deste momento, as empresas Nortel e Norweb comunicaram que, em algumas faixas de frequência, os problemas associados ao ruído e interferência das linhas de transmissão estavam solucionados. O primeiro teste de acesso a internet utilizando esta tecnologia foi realizado em uma escola de Manchester. Com o sucesso nos testes, surgiu uma nova área de negócios de telecomunicações que a Nortel/Norweb chamaram de *Digital Powerline* (AVILA; PEREIRA, 2007).

Naquela época, a maioria das empresas de eletricidade do mundo já poderiam expandir suas áreas de atuação, também atuando como provedores de serviços de

telecomunicações (STEFENON et al., 2017). Este setor estava passando por um crescimento explosivo no mundo, principalmente a área de celulares e internet, e no Brasil, a proposta propunha a privatização de empresas de telecomunicações.

No Brasil, quem acompanhou os desenvolvimentos e testes com a tecnologia PLC foi o Subcomitê de Comunicações do GCOI, e a APTEL, que foi criada em abril de 1999. Em setembro de 1999 foi realizado o primeiro seminário na área, com a seguinte temática: *Power Line Communications* (ROSS, 2006).

### 2.2 PLC (*Power Line Communication*)

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, PLC é sistema que permite a transmissão de sinais de internet, voz, vídeo e comunicação, por meio da rede elétrica (CRUZ et al., 2018). A PLC possui um modelo já homologado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), que é o padrão IEEE1901. De acordo com o IEEE, o modelo IEEE1901 é um grupo de trabalho criado para escrever um padrão para comunicações de rede elétrica de alta velocidade. Este padrão tem como propósito, criar novas técnicas de modulação para oferecer a possibilidade de utilizar linhas de energia elétrica para comunicação de alta velocidade e na progressão rápida no sentido de se criar um padrão robusto para aplicativos de energia elétrica.

Existem dois tipos de tecnologia PLC:

- *Indoor*: a transmissão dos dados é realizada utilizando a rede elétrica de uma casa ou de um prédio.
- *Outdoor*: a transmissão de dados é realizada utilizando a rede pública de energia elétrica mas pelo lado exterior, como por exemplo, a rede de distribuição de energia elétrica da concessionária.

Figura 1: Sistema indoor e outdoor PLC.

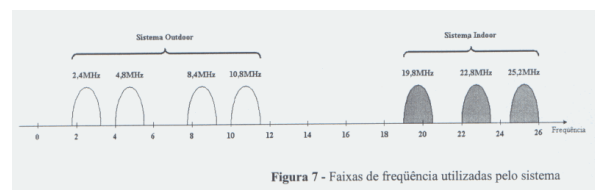


Figura 7 - Faixas de frequência utilizadas pelo sistema

Fonte: Pinho (2002).

Para Pacheco e Silva (2008), o desenvolvimento da tecnologia PLC, assim como de outras tecnologias de transmissão, só foi possível com o avanço dos estudos das técnicas de modulação. Para o autor, “a modulação

consiste no processo de transformar um sinal em uma forma adequada de onda para transmissão através de um determinado meio físico”. O processo de modulação ocorre no transmissor, onde é modificado os parâmetros da onda portadora conforme a mensagem a ser enviada (PACHECO; SILVA, 2008).

### 2.3 Funcionamento

O princípio fundamental de funcionamento da redes PLC ocorre através das frequências que são moduladas pelo equipamento. Como elas são na faixa dos MHz (1,7 a 30 MHz), e a energia elétrica é na ordem dos Hz (50 a 60 Hz), ambos sinais (dados e energia) conseguem conviver harmoniosamente no mesmo meio através de frequências diferentes. Com isso, mesmo se a energia elétrica não estiver transitando no fio no mesmo momento, o sinal de dados não sofrerá interrupções. A tecnologia PLC possui desempenho que permite as mesmas velocidades de envio ou recebimento de dados, podendo enviar e receber dados ao mesmo tempo, este princípio de funcionamento é chamado de *Full Duplex*.

Para que seja possível essa transmissão de dados através da rede elétrica, é necessário a instalação de um equipamento, chamado de *Powerline Network Adapter*. A instalação é bastante simples e torna-se um dos pontos mais positivos desta tecnologia. Para tal, é necessário apenas conectar o adaptador PLC na tomada e conectá-lo ao cabo de internet que poderá ser o próprio modem ou o roteador. Depois disso, qualquer tomada localizada na residência e/ou prédio comercial, se transforma em um ponto de acesso de rede. O segundo *Powerline Adapter* poderá ser conectado a qualquer outra tomada no cômodo, ele será capaz de receber o sinal da rede elétrica e transforma-lo em dados, bastando apenas conectar um cabo de par trançado nele e outro no PC. Ou seja, é necessário um adaptador na entrada do link de dados da operadora, que será o distribuidor de sinal, e outro capaz de receber este sinal da rede elétrica. Pode-se usar o número de adaptadores o quanto quiser, conectando-os na tomada e, através de um cabo, conectando até o PC, ou até mesmo utilizar a conexão Wi-Fi fornecida pelo próprio adaptador. Em condições ideais, essa comunicação pode se chegar a uma velocidade de transmissão de até 500 Mbps utilizando a conexão via cabo.

### 2.4 Ruídos

Como diversos equipamentos podem ser ligados à mesma rede elétrica, como por exemplo, em uma residência onde há eletrodomésticos e eletroeletrônicos,

Figura 2: Demonstração rede Wi-Fi através da tecnologia PLC.



Fonte: TP-LINK (2017).

podem ocorrer vários ruídos no formato de impulso de canal.

Segundo Santos (2008), eles podem ser classificados em síncrono, tonal, de alta frequência e por capacitores:

- **Síncrono:** em geral são provocados por *dimmers*. Como exemplo, é possível citar quando uma lâmpada fluorescente é ligada, onde são inseridos no canal diversos impulsos de dezenas de volts.
- **Tonal:** dividido em dois tipos, intencional e não intencional. O tonal intencional é gerado por comunicadores internos, como walk talks ou babás eletrônicas. O tonal não intencional é gerado por fontes de alimentação chaveadas, por exemplo, em computadores, carregadores e outros dispositivos eletrônicos.
- **Alta Frequência:** são gerados por motores elétricos de baixa potência, presente em dispositivos como barbeadores elétricos, aspiradores de pó e outros eletrodomésticos. Estes equipamentos injetam impulsos de milhares de pulsos por segundo na rede elétrica.
- **Por capacitores:** são gerados ao ligar/desligar de aparelhos eletrônicos. Devido aos capacitores estarem presentes neles, sua função normalmente é corrigir o fator de potência, conforme são alimentados acabam carregando/descarregando. A ordem do ruído gerado depende diretamente do tamanho do capacitor que está sendo utilizado.

### 2.5 Atenuação

Na Rede elétrica a atenuação é um desafio que o PLC encontra no seu funcionamento, para Santos:

A atenuação é outro problema limitador nas transmissões em alta velocidade. Este empecilho costuma ser associado tanto com a frequência do sinal como pela distância que ele percorre. De fato, a atenuação sofrida pelo sinal ao longo da linha de distribuição, que pode variar de acordo com a topologia, é um fator importante que pode afetar o desempenho dos PLC, limitando consideravelmente a distância que sinais podem atingir. Essa atenuação também é causada pelos transformadores da rede elétrica, que, mesmo permitindo a passagem quase total de corrente alternada a 50 ou 60 Hz, atenuam bastante os sinais de alta frequência (SANTOS, 2008).

### 3 Impedância da rede

Para Chagas (2010), a impedância delimita a potência que o transmissor deve injetar na rede, aumentando assim a complexidade e, conseqüentemente, o custo dos transmissores.

Chagas (2010), complementa que alguns dos fatores que modificam a impedância são:

- Impedância do transformador de distribuição: aumenta com a frequência.
- Impedância característica do cabo: cabos com características e finalidades diferentes apresentam impedâncias distintas, o que prejudica a homogeneidade do canal de transmissão.
- Impedância dos equipamentos conectados: pode variar entre 10 e 100 ohms.

#### 3.1 Interferências

As interferências podem ser divididas em dois tipos, as causadas por outros sistemas que utilizam uma mesma faixa de frequência que a tecnologia PLC e a aquelas causadas por outros equipamentos PLC sendo utilizados ao mesmo tempo num mesmo ambiente.

O primeiro tipo citado, está relacionado aos limites de potência que um sistema regulamentador deveria determinar para este tipo de comunicação. Apesar de nos Estados Unidos e na Europa existirem normas rígidas de controle e limites de consumo, o Brasil ainda não regulamentou níveis de controle com relação a tecnologia PLC, logo, não há como saber quais indicadores serão adotados. O padrão de cabos da rede elétrica não é trançado como nas redes Ethernet de cabos UTP, isto faz com que a transmissão de sinais de alta frequência seja maior, podendo gerar não só interferência a outros elementos na rede, como também interferências a comunicações de rádio externamente. No entanto, para evitar que estes sinais de rádio se prejudiquem, existem normas técnicas que limitam e regulamentam as

frequências utilizadas no espectro como nas utilizadas pelos PLC.

Sobre o segundo tipo citado, Santos (2008) cita que “está relacionado com a redução do espectro disponível para cada usuário, devido à interferência gerada por outros PLC”. Algo que pode resultar na redução da taxa de transmissão. Portanto, ter um conhecimento prévio dos níveis de sinais da região onde se pretende instalar um sistema PLC é de grande importância para a viabilidade do mesmo (SANTOS, 2008).

#### 3.2 Modulação

O desenvolvimento do PLC assim como outras tecnologias de transmissão de dados só foi possível a partir do avanço nos estudos das técnicas de modulação. A modulação consiste no processo de transformar um sinal de uma determinada frequência em uma forma de onda adequada para transmissão através da rede elétrica. O processo de modulação ocorre no transmissor, onde é modificado os parâmetros da onda portadora conforme a mensagem que será enviada através do canal de transmissão.

No receptor, o processo se inicia com a demodulação da mensagem original a partir do sinal recebido. Entretanto, o processo de demodulação da mensagem original é atenuada pela ação de agentes como, a presença de interferências e a distorção no sinal gerado. O problema é a degradação do sinal como um todo, que é influenciada pelo tipo de modulação que foi aplicada. Algumas técnicas são mais sensíveis a ruídos e distorções do que outros tipos de modulações. Então, para otimizar o canal surgiram as técnicas de multiplexação que é outro requisito primordial na qualidade da transmissão de dados.

#### 3.3 Multiplexação

Multiplexação é o processo de transmissão simultânea sobre o mesmo canal combinando vários sinais ao mesmo tempo. Dentre os possíveis métodos de multiplexação é possível citar:

- a) *Frequency-Division Multiplexing* (FDM): utiliza modulação por onda contínua com o propósito de colocar cada sinal em uma frequência específica do espectro. No lado receptor são utilizados filtros para separar as frequências e os diferentes sinais e prepará-los para demodulação do sinal.
- b) *Time-Division Multiplexing* (TDM): usa um tipo de modulação por pulsos para posicionar os si-

nais enviados e recebidos em diferentes faixas de tempo.

- c) *Code-Division Multiplexing* (CDM): cada sinal é identificado por uma sequência de código diferente.

#### 4 METODOLOGIA

O método utilizado neste trabalho é o descritivo-comparativo, com estudo de caso. Descreve-se como foi realizada a pesquisa, comparando a tecnologia PLC com o cabeamento fixo. Na pesquisa descritiva pretende-se relatar o modo como fenômeno é produzido, avalia-se que esse tipo de pesquisa exige planejamento metuculoso para à definição das técnicas de coleta e análise de dados.

O estudo de caso é uma modalidade de pesquisa peculiar, que consiste em um estudo particular de um único objeto ou poucos objetos de pesquisa, os resultados encontrados dependem de contexto específico e seus efeitos nunca podem ser generalizados. A tecnologia PLC é o nosso caso particular de estudo, sendo os testes realizados no CCET da UNIPLAC.

##### 4.1 Procedimentos Metodológicos

O estudo aborda o conhecimento da tecnologia PLC e sua aplicação em ambientes residenciais e corporativos. Para analisar a temática proposta, este trabalho será pautado no estudo de campo e na comparação entre as tecnologias do tema proposto. O estudo realiza um levantamento bibliográfico, comparando-se os resultados obtidos com a prática para atestar suas informações quanto a lógica dos resultados encontrados. Para isso se fez necessário direcionar o estudo teórico para os testes realizados na prática proposta no estudo. Os teste foram realizados com equipamentos eletrônicos conectados via cabo de rede aos dispositivos PLC (comparando-se com o UTP) à energia elétrica.

#### 5 ESTUDO COMPARATIVO PARA IMPLANTAÇÃO E RESULTADOS

##### 5.1 Proposta de implantação

Com o objetivo de demonstrar resultados concretos, será apresentada uma proposta de implantação da tecnologia PLC, com os valores parciais de gastos obtidos com a implantação da rede cabeada Wi-Fi convencional. A rede cabeada consta já implementada e em pleno funcionamento, portanto os valores apresentados da rede cabeada são valores estimados.

A partir dos valores obtidos será apresentado uma comparação das tecnologias PLC Wi-Fi e rede cabeada Wi-Fi convencional mostrando valores de custos com equipamentos e com energia elétrica, e por fim será apresentado o *payback* trazendo à tona os valores de investimento e o tempo de retorno deste investimento.

##### 5.1.1 Proposta de Implantação utilizando tecnologia PLC

Foi elaborado um projeto para implantação da rede PLC no bloco de engenharias CCET (Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas) da UNIPLAC. Nele serão instalados 5 adaptadores PLC Wi-Fi do fabricante TP-LINK e modelo AV500 com adaptador Wi-Fi no corredor principal de cada andar. A área de cobertura dos adaptadores será de aproximadamente 900 m<sup>2</sup>, podendo variar de acordo com a interferência no local. Será realizada a instalação dos equipamentos em tomadas elétricas de 10 amperes, que deverá ser de no mínimo 1,8 m de altura do solo.

Figura 3: Diagrama unifilar bloco de engenharias UNIPLAC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta solução de internet Wi-Fi PLC é muito promissora e proporciona velocidades e tecnologias semelhantes ao Wi-Fi convencional com rede cabeada podendo atingir 500 Mbps em ambientes sem interferências.

Esta proposta visa a economia no investimento, podendo chegar em um montante de até R\$ 44,71 mensal de economia de energia se comparado com a rede UTP cabeada.

##### 5.1.2 Custo para Implementação da tecnologia PLC

O objetivo desta implementação é atender toda a área de sala de aula do bloco novo CCET de Engenharias. Os equipamentos propostos são compatíveis com qualquer modelo de dispositivo Wi-Fi de tecnologia 2.4ghz ou 5.8ghz. A instalação dos equipamentos será apenas conecta-los na tomada que será disponibilizado apenas para o adaptador, onde deverá ser de acesso apenas de pessoal técnico evitando problemas ao equipamento.

Para a configuração dos adaptadores será necessário a contratação de um técnico especializado. Este técnico terá o custo apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Investimento dos equipamentos PLC.

Equipamentos	Quantidade	Custo	TOTAL
Adaptador PLC	5	R\$ 250,00	R\$ 1.250,00
Servidores (config. hora técnica)	4h	R\$ 80,00	R\$ 320,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 1.570,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1.3 Estimativa de economia de energia elétrica PLC

Nos dias atuais a energia elétrica vem sendo a maior preocupação quando se deparamos com equipamentos ligados a tomada elétrica o dia todo. É pensando na economia que foi elaborado um projeto de aplicação desta tecnologia na universidade, onde é um ambiente seguro e confiável para o PLC.

A base de cálculo foi realizada com o valor do kW/h de R\$ 0,46 conforme dados fornecidos pela Concessionária de energia elétrica CELESC.

**Tabela 2:** Custo de energia elétrica equipamentos PLC mensal.

Equipamentos	Quantidade	Consumo	KWh/mês (0,46)	Custo
Adaptador PLC	5	3W	10,8	R\$ 4,97
Servidores	1	300W	216	R\$ 99,36
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 104,33</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a implementação desta proposta teremos um custo de energia elétrica de aproximadamente R\$ 104,33 reais mensais. Este valor comparado com a tecnologia convencional cabeada UTP será economicamente mais viável.

### 5.1.4 Estimativa de custos para implementação de rede UTP cabeada convencional

Na implementação da rede cabeada UTP foram utilizados equipamentos do fabricante UBIQUITI, modelo Unifi AP Indoor de 2,4 GHz e 5,8 GHz de frequências de sinal Wi-Fi. Foi realizada uma análise do sinal Wi-Fi para entender se este sinal cobre 100% das áreas do bloco de engenharias, e foi concluído que a instalação realizada supri toda a necessidade da rede Wi-Fi atendendo 100% de cada andar do bloco de engenharias.

A partir do modelo de equipamentos utilizados podemos considerar os valores que foram gastos considerando valores de mercado.

**Tabela 3:** Estimativa de custo com equipamentos rede UTP.

Equipamentos	Quantidade	Custo un. (metro)	Valor
CABO CAT-6	120 mt	R\$ 2,00	R\$ 240,00
Roteadores WI-FI	5	R\$ 635,90	R\$ 1.907,70
Serviço	12 hr	R\$ 80,00	R\$ 960,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 3.107,70</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1.5 Estimativa de economia de energia elétrica utilizando equipamentos com a tecnologia UTP cabeada convencional

Utilizando a mesma base de cálculo da tecnologia PLC com o valor do kW/h R\$ 0,46 reais por mês, obtivemos um valor de 30% maior que a tecnologia PLC.

**Tabela 4:** Estimativa de custo de energia elétrica utilizando tecnologia UTP cabeada.

Equipamentos	Quantidade	Consumo	KW/h/mês (0,46)	Custo
Roteador WI-FI	5	10W	36	R\$ 16,56
Servidores	1	300W	216	R\$ 99,36
Switch	1	100W	72	R\$ 33,12
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 149,04</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1.6 Cálculo de retorno do investimento PLC

Primeiramente será investido R\$ 1.570,00 com materiais e instalação do PLC, este investimento é feito diretamente com a universidade, aplicando uma taxa de juros de 6,5% ao ano. Foi realizado o cálculo de *payback* com o intuito de apresentar os valores reais de investimento com base no mercado, e demonstrando o tempo que este investimento levará para se pagar economicamente.

Por cautela não se inflacionou a economia obtida com energia elétrica, utilizando os mesmos valores por três anos e não se considerou os efeitos da depreciação. O *payback* trata-se do tempo de retorno do investimento realizado com a proposta do projeto. O *payback* simples é considerando o valor de fluxo de caixa normal, este investimento foi calculado de modo que em 2 anos 11 meses e 3 dias o valor investido será recuperado ocorrendo o ponto de equilíbrio do investimento, considerando-se somente a economia de energia elétrica.

A TMA (Taxa mínima de Atratividade) é a taxa mínima de juros proposta para o investimento inicial, levando em considerações as condições atuais de negociação da universidade com os bancos que esta tem parceria (RIGHEZ et al., 2016). A TMA considerada foi de

**Tabela 5:** Calculo de investimento e *payback*.

	Investimento	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Fluxo de Caixa Normal	-R\$ 1.570,00	R\$ 536,52	R\$ 536,52	R\$ 536,52
Fluxo de Caixa Acumulado	-R\$ 1.570,00	-R\$ 1.033,48	-R\$ 496,96	R\$ 39,56
TMA	6,50%			
TIR	1,25%			
Payback Simples	ANO: 2	MÊS: 11	DIA: 3	

Fonte: Elaborado pelo autor.

6,5% ao ano, mesmo avaliando que a TIR tenha dado o valor de 1,25%aa abaixo da TMA, o projeto ainda é viável em função que a tecnologia cabeada custará metade do valor de R\$ 3.107,70 de investimento em UTP. Se considerarmos os efeitos da inflação de mais ou menos 4,5%aa (ao ano) e analisar a extensão da universidade, a tecnologia estudada traria resultados de destaque, muito promissores.

Portanto além do custo do investimento da tecnologia cabeada ser maior comparado ao custo com a tecnologia PLC, o custo de energia elétrica da UTP também será maior, o que inviabilizaria a escolha dessa tecnologia. A tecnologia PLC é superior tanto em termos de custos de investimento, como de economia de energia elétrica. Se fosse considerado o valor presente do investimento da tecnologia cabeada para um ano seria de R\$ 2.572,70, enquanto que a tecnologia PLC seria de R\$ 1.299,72.

## 5.2 Testes de Bancada

Foi realizado testes de velocidades entre dois computadores ligados aos equipamentos PLC em um ambiente com e sem ruídos, ou seja, não foi ligado à rede de energia elétrica nenhum equipamento que possa causar interferências a frequência utilizada pelo PLC. Além disso, os locais de testes não se encontram próximo de fábricas que possam causar interferências e ruídos a rede de energia elétrica.

As velocidades das placas de rede dos computadores notebook utilizados para os testes são de 100 Mbps na conexão via cabo, e 150 Mbps na conexão Wi-Fi ambos, portanto os testes se limitaram a essas velocidades. Os dispositivos PLC utilizados nos testes foram o KIT Wi-Fi da TP-LINK AV500 WPA4530 que contém duas portas LAN no extensor somente cabo, e três portas LAN no extensor com Wi-Fi, ele oferece velocidades de 300Mbps na frequência 2.4GHz e 433Mbps em 5GHz, e também utilizado roteador Wi-Fi Cisco E900.

Os testes realizados foram em uma rede local paralela criada especificamente para os testes, essa rede não

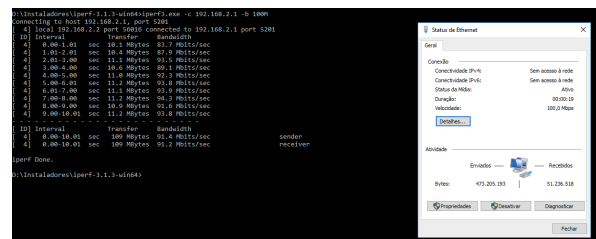
possui acesso à internet, permitindo mais confiabilidade nos testes e garantindo que somente os equipamentos dos testes estarão nessa rede.

Os testes realizados são de envio e recebimento dos pacotes de dados que contém um tamanho de 100 MB em um intervalo de 10 segundos.

### 5.2.1 Testes conectados ao extensor A

Primeiramente foi realizado o teste ligando os dois notebooks diretamente ao mesmo PLC via cabo. Este teste é para certificar que o dispositivo irá oferecer a velocidade máxima, e garantir que performance dele está satisfatória.

**Figura 4:** Teste de velocidade com dispositivos ligados no mesmo equipamento PLC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este teste mostra o desempenho do equipamento está em pleno funcionamento, com uma velocidade média de 91,4 Mbps no envio e 91,2 no recebimento dos pacotes. Considerando que as placas de rede nos notebooks são de 100 Mbps o resultado encontrado é satisfatório.

### 5.2.2 Testes conectados do extensor A até o extensor B

Este teste foi realizado conectando um notebook no extensor A, localizado no piso superior do local de testes, e o extensor B no térreo com distância entre os dispositivos de aproximadamente 30 m por meio da ener-

gia elétrica. Ambos os notebooks estavam conectados via cabo no extensor PLC.

Figura 5: Teste de velocidade com notebook ligados ao PLC pareado via energia elétrica.

```
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>iperf3.exe -c 192.168.2.1 -b 100M
Connecting to host 192.168.2.1, port 5201
[ 4] local 192.168.2.2 port 56018 connected to 192.168.2.1 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01    sec  2.25 MBytes  18.6 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01    sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.00    sec  2.12 MBytes  18.0 Mbits/sec
[ 4] 4.00-5.00    sec  2.12 MBytes  17.9 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.00    sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.00    sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
[ 4] 7.00-8.01    sec  2.12 MBytes  17.6 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.01    sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01   sec  2.12 MBytes  17.8 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01   sec  21.5 MBytes  18.0 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01   sec  21.3 MBytes  17.9 Mbits/sec      receiver
iperf Done.
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este teste mostra uma perda de eficiência de aproximadamente 80,2% com a transmissão de dados via energia elétrica, mas com os notebooks conectados via cabo aos dispositivos PLC. A velocidade encontrada foi de 18 Mbps no envio de pacotes e 17 Mbps no recebimento dos dados, o teste apresenta também que nos 10 segundos de transmissão dos dados ele conseguiu transmitir apenas 21,5 MB do pacote de 100 MB solicitado.

O Próximo teste ocorre utilizando a mesma configuração dos equipamentos, porém no extensor B, foi conectado o notebook no sinal Wi-Fi no dispositivo PLC, limitado a 150 Mbps encontrou-se o resultado a seguir:

Figura 6: Teste de velocidade com dispositivo conectado ao Wi-Fi do extensor PLC B.

```
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64\iperf3.exe -c 192.168.2.1 -b 100M
iperf3: error - unable to connect to server: Software caused connection abort
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64\iperf3.exe -c 192.168.2.1 -b 100M
Connecting to host 192.168.2.1, port 5201
[ 4] local 192.168.2.3 port 56035 connected to 192.168.2.1 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01    sec  2.25 MBytes  18.8 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01    sec  2.00 MBytes  16.7 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01    sec  1.25 MBytes  10.5 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 6.01-7.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 7.01-8.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.01    sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01   sec  2.25 MBytes  18.9 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01   sec  21.2 MBytes  17.8 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01   sec  21.1 MBytes  17.7 Mbits/sec      receiver
iperf Done.
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado obtido através deste teste foi semelhante ao conectado via cabo no extensor PLC, apresentando os mesmos resultados.

5.2.3 Testes com extensor A e extensor B gerando ruído a energia elétrica paralelamente

O teste foi realizado com os notebooks conectados via cabo de rede aos dispositivos PLC pareados à energia elétrica. Foi ligado a energia elétrica um secador de cabelo, gerando ruídos na rede e prejudicando o sinal emitido dos dispositivos PLC.

Figura 7: Teste de velocidades com ruído a energia elétrica.

```
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>iperf3.exe -c 192.168.2.1 -b 100M
Connecting to host 192.168.2.1, port 5201
[ 4] local 192.168.2.4 port 56043 connected to 192.168.2.1 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01    sec  640 KBytes  5.20 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01    sec  384 KBytes  3.15 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01    sec  512 KBytes  4.19 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01    sec  384 KBytes  3.15 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01    sec  512 KBytes  4.19 Mbits/sec
[ 4] 5.01-6.00    sec  512 KBytes  4.23 Mbits/sec
[ 4] 6.00-7.01    sec  384 KBytes  3.12 Mbits/sec
[ 4] 7.01-8.01    sec  512 KBytes  4.19 Mbits/sec
[ 4] 8.01-9.01    sec  384 KBytes  3.15 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01   sec  384 KBytes  3.15 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01   sec  4.50 MBytes  3.77 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01   sec  4.43 MBytes  3.71 Mbits/sec      receiver
iperf Done.
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que as velocidades alcançadas entre os notebooks foram afetadas drasticamente, diminuindo os valores para 3,77 Mbps, conseguindo enviar apenas 4,5 MB de dados durante os 10 segundos.

5.2.4 Testes com dispositivos PLC conectados a energia elétrica próximos um do outro

Neste teste, os extensores A e B foram conectados a tomadas de rede elétrica a 2 metros de distância, e neles foram conectados os notebooks via cabo de rede.

Figura 8: Teste de velocidade com extensores A e B próximos um do outro.

```
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>iperf3.exe -c 192.168.2.1 -b 100M
Connecting to host 192.168.2.1, port 5201
[ 4] local 192.168.2.2 port 56063 connected to 192.168.2.1 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01    sec  9.00 MBytes  66.2 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01    sec  6.75 MBytes  56.6 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01    sec  7.00 MBytes  58.8 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01    sec  6.88 MBytes  57.7 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.00    sec  6.88 MBytes  58.4 Mbits/sec
[ 4] 5.00-6.01    sec  6.88 MBytes  56.9 Mbits/sec
[ 4] 6.01-7.01    sec  7.00 MBytes  58.7 Mbits/sec
[ 4] 7.01-8.00    sec  6.88 MBytes  58.2 Mbits/sec
[ 4] 8.00-9.01    sec  7.12 MBytes  59.2 Mbits/sec
[ 4] 9.01-10.01   sec  7.00 MBytes  58.6 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4] 0.00-10.01   sec  70.4 MBytes  58.9 Mbits/sec      sender
[ 4] 0.00-10.01   sec  70.2 MBytes  58.8 Mbits/sec      receiver
iperf Done.
D:\Instaladores\iperf-3.1.3-win64>
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos observar que a distância entre os dispositivos PLC afetam diretamente na eficiência do equipamento, neste teste foram alcançados valores de 58,9



Mbps para envio dos dados e 58,8 Mbps para recebimento. Foi transmitido 70,4 MB de dados durante os 10 segundos de teste.

### 5.2.5 Testes utilizando a frequência de 5GHz

Foi conectado ao dispositivo PLC Wi-Fi, dois celulares compatíveis com a frequência de 5GHz. Entre eles foi realizado teste de transferência de dados, apresentando os valores de transferência de dados de 72Mbps, sendo satisfatório o teste.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia PLC demonstrou uma enorme vantagem em relação a tecnologia cabeada convencional, pois seu custo de investimento é extremamente baixo podendo se pagar em menos de um ano. Outra grande vantagem dessa tecnologia é que utiliza a infraestrutura existente do local, sendo necessário apenas os adaptadores conectados a tomada.

Em contrapartida, esta tecnologia ainda possui como principal desvantagem que em alguns locais passar a ser um ponto grave, a interferência por meio da rede elétrica. Ainda assim, se usado em ambientes que não geram interferências, pode-se obter um uso próximo a rede convencional. Entretanto, não consegue entregar as velocidades prometidas quando utilizando ligado a energia elétrica, e em caso de ruídos, o equipamento pode perder seu desempenho de forma a afetar a utilização do usuário na internet ou na própria rede local.

Atualmente, o PLC encontra-se em uma situação contraditória, enquanto a tecnologia indoor começa a ser divulgada comercialmente, até mesmo aqui no Brasil, a outdoor encontra-se ainda em fase de teste. No campo da tecnologia indoor, o PLC está em um estágio mais desenvolvido, onde diversas empresas já comercializam produtos com essa tecnologia. Neste setor, a grande dificuldade não é técnica, e sim comercial, ao enfrentar a concorrência da tecnologia Wi-Fi.

Os resultados analisados mostram que apesar da baixa taxa de transmissão, a tecnologia PLC é eficaz e pode ser usada em ambiente residencial onde a demanda é uma baixa taxa de transmissão de dados. Assim o PLC pode se tornar uma ótima opção para ambientes pequenos e sem ruídos na energia elétrica. Caso tenha conectado aos dispositivos, equipamentos com velocidade da placa de rede superior a 100 Mbps os valores de transferência de dados poderão ser maiores.

## REFERÊNCIAS

AMERICO, J. P.; CABRAL, S. H.; STEFENON, S. F.; SALVADOR, M. A.; OLIBONI, C. R.; MADRUGA, G. G. Um estudo qualitativo das técnicas utilizadas para medição e localização de descargas parciais em transformadores de potência. **Revista Espacios**, v. 38, n. 34, p. 14, 2017.

ARCHANGELO, F. **PLC/BPL: Uma Tecnologia Poluidora**. Brasil, 2009.

AVILA, F. R.; PEREIRA, C. E. Tecnologia plc-a nova era da comunicação de dados em banda larga. In: **III encontro de tecnologia de informação e comunicação na construção civil**. Porto Alegre: Integração de Sistemas em Arquitetura, Engenharia e Construção, 2007. p. 8.

CHAGAS, C. R. d. M. **Transferência de dados via rede elétrica baseado no protocolo X-10**. Dissertação (Projeto Final de Curso de Engenharia de Computação) — Centro Universitário de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2010.

CRUZ, F. C.; STEFENON, S. F.; FURTADO, R. G.; ROCCA, G. A. D.; FERREIRA, F. C. S. Estudo de viabilidade financeira para instalação de rádio enlace na rede de telefonia móvel. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 8, n. 3, p. 4447–4460, 2018.

PACHECO, A. J.; SILVA, A. **Transmissão de Dados Via Rede Elétrica**. 2008. Disponível em: <<http://revista.ctai.senai.br/index.php/edicao01/article/view/DownloadInterstitial/38/35>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

PINHO, D. C. **PLC, PowerLine Communication**. 2002. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/02\\_1/plc/](https://www.gta.ufrj.br/grad/02_1/plc/)>. Acesso em: 03 dez. 2017.

RIGHEZ, F. O.; ROCCA, G. A. D.; ARRUDA, P. A.; STEFENON, S. F. Análise de viabilidade técnica e financeira de um site de internet banda larga fixa. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 6, n. 4, p. 3537–3552, 2016.

ROSS, J. **Curso power line communications**. 1. ed. Rio de Janeiro: Antenna Edições técnicas Ltda, 2006.

SANTOS, T. L. **Power line communication**. 2008. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/tulio/index.htm](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/index.htm)>. Acesso em: 12 out. 2017.

STEFENON, S. F.; OLIVEIRA, J. R. de; COELHO, A. S.; MEYER, L. H. Diagnostic of insulators of conventional grid through labview analysis of fft signal generated from ultrasound detector. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 15, n. 5, p. 884–889, 2017.

TP-LINK. **Adaptadores Powerline, TL-WPA4530 KIT**. 2017. Disponível em: <[http://www.tp-link.pt/products/details/cat-18\\_TL-WPA4530-KIT.html](http://www.tp-link.pt/products/details/cat-18_TL-WPA4530-KIT.html)>. Acesso em: 03 dez. 2017.