

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFIGURAÇÃO E GERENCIAMENTO DE  
SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDES

ANDRÉ LUÍS PILARSKI

**POWER LINE COMMUNICATIONS – PLC**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2015

ANDRÉ LUÍS PILARSKI

**PESQUISA E ANÁLISE DA TECNOLOGIA POWER LINE  
COMMUNICATIONS**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA  
2015

## RESUMO

PILARSKI, André Luís. **Pesquisa e Análise da Tecnologia Power Line Communications**. 2015. 30 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Redes) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

O propósito desta monografia é estudar e analisar a tecnologia de transmissão de dados via rede de energia elétrica denominada Power Line Communications. A pesquisa apresenta o funcionamento da tecnologia, suas possíveis aplicações, vantagens e desvantagens e faz uma análise de implementação baseada em estudos de caso desenvolvidos no Brasil. Por fim, o estudo busca demonstrar sua atual viabilidade comercial e projeção futura.

**Palavras chave:** Power Line Communications. Inclusão Digital. Energia Elétrica.

## **ABSTRACT**

PILARSKI, André Luís. **Research and Analysis of Power Line Communications Technology**. 2015. 30 f. Essay (Graduate Certificate in Networking and Systems Administration) - Graduate Programs in Technology, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2015.

The purpose of this monograph is to study and analyze the data transmission technology by electricity network called Power Line Communication. The research shows how the technology works, its possible applications, advantages and disadvantages and is an implementation analysis based on case studies developed in Brazil. Finally, the study seeks to show your current commercial viability and future projection.

**Key Words:** Power Line Communications. Digital Inclusion. Electric Power.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixa de Frequência Utilizada no PLC.....	13
Figura 2 - Exemplo de Modem PLC .....	14
Figura 3 - Topologia Básica PLC.....	24

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BPLC	Broadband Power Line Communications
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DES	Data Encryption Standard
IP	Internet Protocol
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PLC	Power Line Communications
PLIC	Power Line Indoor Communications
PLOC	Power Line Outdoor Communications
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TCP	Transmission Control Protocol
VLAN	Virtual LAN
VoIP	Voice Over Internet Protocol

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	8
1.1 TEMA .....	8
1.2 PROBLEMA .....	8
1.3 OBJETIVOS .....	8
1.3.1 Objetivo Geral.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 JUSTIFICATIVA .....	9
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	9
1.6 ESTRUTURA .....	10
2 CONHECENDO O PLC.....	11
3 FUNCIONAMENTO BÁSICO .....	12
3.1 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA .....	12
3.2 MODULAÇÃO E MULTIPLEXAÇÃO .....	13
3.3 TOPOLOGIA E EQUIPAMENTOS .....	13
3.3.1 Outdoor .....	14
3.3.2 Indoor.....	14
3.3.3 Modem PLC .....	14
4 VANTAGENS E DESVANTAGENS EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS TECNOLOGIAS .....	15
4.1 VANTAGENS .....	15
4.1.1 Sistema Elétrico já instalado.....	15
4.1.2 Barramento compartilhado (custo compartilhado) .....	15
4.1.3 Redes domésticas com novas aplicações .....	16
4.1.4 Inclusão digital .....	16
4.2 DESVANTAGENS.....	17
4.2.1 Padronização .....	17
4.2.2 Qualidade da rede elétrica.....	17
4.2.3 Segurança .....	17
5 APLICAÇÕES .....	18
5.1 REDE DOMÉSTICA .....	18
5.2 VLAN, VoIP, VÍDEO .....	18
5.3 MONITORAMENTO E VIGILÂNCIA.....	19

5.4 ESPECÍFICOS PARA EMPRESAS DE ENERGIA E ÁGUA .....	19
6 REGULAMENTAÇÃO .....	20
6.1 RESOLUÇÃO Nº 527 DA ANATEL .....	20
6.2 RESOLUÇÃO Nº 375 DA ANEEL .....	21
7 ESTUDOS DE CASO EM ANDAMENTO NO BRASIL.....	22
7.1 ESTUDO DE CASO DA CEMIG.....	22
7.2 ESTUDO DE CASO DA COPEL .....	23
7.2.1 Avaliação na Rede Externa.....	24
7.2.2 Dificuldades na Rede Interna.....	25
7.2.3 Conclusão da COPEL.....	26
8. CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	28



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 TEMA**

Com o indiscutível crescimento no Brasil e no mundo dos serviços e tecnologias que usam a internet como meio de comunicação, surge cada vez mais a necessidade de ampliar a infraestrutura de rede e levar acesso às localidades que ainda não possuem. Alguns meios de comunicação que já são bem conhecidos e utilizados possuem fatores que dificultam a ampliação dessa infraestrutura, como custo muito elevado e grande demanda de tempo. Este trabalho tem o foco em uma possível solução para essas dificuldades, a tecnologia PLC.

## **1.2 PROBLEMA**

No decorrer da evolução tecnológica, diversos fatores podem influenciar a inserção de tecnologias no mercado, sejam essas novas ou já conhecidas.

Assim como outras tecnologias que ainda não são amplamente difundidas e conhecidas, o PLC pode tornar-se uma importante ferramenta para a inserção de pessoas no mundo digital, portanto é importante ser constantemente estudado e discutido para ser possível o seu aperfeiçoamento e haver uma constante avaliação a respeito de sua viabilidade para o mercado.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Realizar um estudo sobre a tecnologia *Power Line Communications* (PLC), descrevendo suas principais características, vantagens e desvantagens sobre outras tecnologias de comunicação, bem como seu potencial de mercado e contribuição para a inclusão digital na sociedade brasileira.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Descrever as características técnicas do PLC;
- Explicar o funcionamento básico da tecnologia e suas técnicas de implementação;
- Demonstrar aplicações previstas no sistema PLC;
- Analisar os estudos de caso em andamento no Brasil, principalmente pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL);
- Demonstrar as regulamentações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e também da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsáveis pela tecnologia PLC no Brasil;
- Apontar vantagens e desvantagens comparando com tecnologias de banda larga comercializadas no Brasil;

### **1.4 JUSTIFICATIVA**

As informações obtidas a partir deste trabalho poderão servir de orientação para estudos futuros e pesquisas científicas sobre a implementação do PLC, além de demonstrar suas características e viabilidade atuais e também contribuir para o desenvolvimento desta tecnologia que pode possibilitar a inclusão de diversas pessoas, muitas de baixa renda, no mundo digital.

### **1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizadas pesquisas bibliográficas existentes sobre o assunto tratado, matérias publicadas em revistas técnicas e estudos realizados por profissionais da área foco deste estudo.

O projeto também demonstrará resultados de estudos de caso realizados no Brasil, principalmente obtidos através do relatório técnico da Companhia Paranaense de Energia (COPEL).

## 1.6 ESTRUTURA

O presente trabalho está dividido em oito capítulos. O primeiro aborda qual o tema que será desenvolvido, a metodologia utilizada, justificativa e principalmente os objetivos gerais e específicos do estudo desenvolvido.

O segundo capítulo apresenta um breve conceito sobre o PLC. O terceiro capítulo traz informações sobre o funcionamento da tecnologia, as frequências utilizadas e informações sobre as técnicas de multiplexação e modulação adotadas. Também no terceiro são apresentadas as topologias e exemplos de equipamentos utilizados.

No quarto capítulo são apresentadas vantagens e desvantagens da tecnologia PLC se comparada a outras atualmente utilizadas. Já no quinto capítulo são abordadas possíveis aplicações para a tecnologia PLC.

O sexto capítulo trata da regulamentação e normas para o desenvolvimento e distribuição da tecnologia, bem como resoluções dos órgãos regulamentadores. O sétimo capítulo aborda os estudos de caso realizados no Brasil, com maior enfoque para o estudo desenvolvido pela COPEL.

Por fim o oitavo capítulo apresenta as conclusões e considerações finais sobre o projeto proposto.

## 2 CONHECENDO O PLC

Cada vez mais as empresas de telecomunicação vêm investindo em infraestrutura para ampliar suas capacidades de transmissão e melhorar o desempenho de suas redes de comunicação.

Apesar dos altos investimentos, muitos usuários finais continuam sem acesso a rede mundial de computadores, ou quando possuem acesso, pagam preços exorbitantes. Segundo Parente (2011), isso ocorre porque grande parte dos altos investimentos feitos pelas empresas destinam-se para a comunicação de inúmeros provedores, mas não atingem o usuário final. A comunicação com o usuário final é chamada de “última milha”, e é nessa etapa que pode estar a grande contribuição do PLC, também conhecido como *Broadband Power Line Communications* (BPLC).

A ideia de transmitir dados utilizando a rede de energia elétrica não é nova, na década de 20 foram registradas as primeiras patentes da *American Telephone and Telegraph Company* (CUNHA, 2003), usando redes trifásicas. Na época, era necessário que os equipamentos para a transmissão dos dados em alta velocidade evoluíssem, o que aconteceu somente há pouco tempo.

### 3 FUNCIONAMENTO BÁSICO

Pode-se descrever o funcionamento básico do PLC como a utilização simultânea da rede de energia elétrica para transmissão de eletricidade e dados de comunicação. Isso é possível devido à diferença entre as características de frequências em suas origens e destinos (COPEL, 2010).

#### 3.1 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

O sistema de energia elétrica é constituído de uma faixa espectral de 60hz como frequência fundamental e geração de harmônicas de 120hz a 1200hz (CORRÊA, 2004). Para o serviço de banda larga por meio da tecnologia PLC, estão liberadas as frequências compreendidas entre 1,705Mhz a 50Mhz, com algumas restrições de faixas de exclusão utilizadas por Radioamadores e Serviço Móvel Aeronáutico, conforme mostram as tabelas abaixo (COPEL, 2010).

<b>Faixas de Exclusão</b>
Frequências (Mhz)
2,754-3,025
3,400-3,500
4,453-4,700
5,420-5,680
6,525-6,876
6,991-7,300
8,815-8,965
10,005-10,123
11,275-11,400
13,260-13,360

<b>Faixas de Radiofrequências em zona de proteção de estações costeiras</b>
Frequências (Mhz)
4,122-4,128
4,177-4,178
4,207-4,208
6,212-6,218
6,268-6,269
6,312-6,313
8,288-8,294
8,364-8,365
8,376-8,377
12,287-12,293

Como a diferença entre as faixas de frequência utilizadas no PLC e no sistema elétrico são grandes, é possível utilizar ambos sem que ocorra interferência de um sinal no outro. A figura abaixo exemplifica essa diferença entre as frequências.

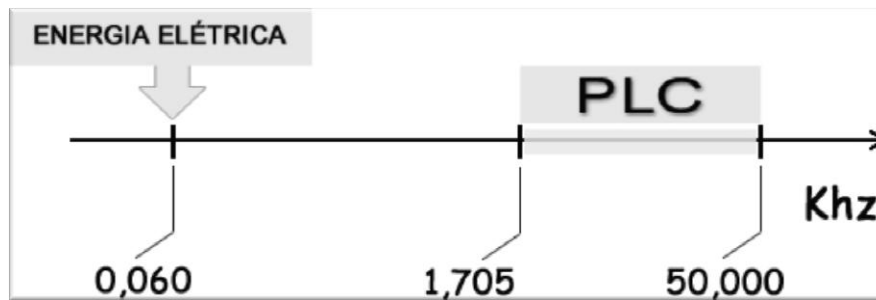


Figura 1 – Faixa de Frequência Utilizada no PLC [Autoria própria].

### 3.2 MODULAÇÃO E MULTIPLEXAÇÃO

Com o avanço das técnicas de modulação e multiplexação, tornou-se possível a implementação do PLC. Segundo Vargas (2004) a modulação é o processo de transformar um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um determinado meio físico. A multiplexação é o processo de combinar vários sinais para a transmissão simultânea sobre o mesmo canal.

Existem diversas técnicas de modulação e multiplexação. Neste trabalho será utilizada a técnica de multiplexação chamada *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM), que atualmente é a mais empregada na tecnologia PLC, além de ser utilizada no estudo de caso desenvolvido pela COPEL, que será apresentado no decorrer desta monografia.

### 3.3 TOPOLOGIA E EQUIPAMENTOS

A arquitetura da tecnologia PLC e os equipamentos dividem-se em três blocos. O primeiro é o *Indoor*, também conhecido como *Power Line Indoor Communications* (PLIC), o segundo *Outdoor*, também conhecido como *Power Line Outdoor Communications* (PLOC) e o terceiro é o modem PLC (CORRÊA, 2004).

### 3.3.1 Outdoor

A topologia *Outdoor* é constituída pela rede elétrica que vai desde o transformador de distribuição (baixa tensão) até o medidor de energia (CORRÊA, 2004). É composta por um equipamento denominado MASTER, também conhecido com *Head-End*, responsável por transformar os dados recebidos pela fibra óptica (ou outro meio de comunicação) em sinal PLC, injetando este no barramento da rede de distribuição (COPEL, 2010).

### 3.3.2 Indoor

A topologia *Indoor* é compreendida pelo trecho que vai desde o medidor de energia do usuário final até as tomadas presentes no interior do imóvel onde é utilizado. Pode ser necessária a instalação de um equipamento repetidor de sinal na entrada do medidor de energia (COPEL, 2010).

### 3.3.3 Modem PLC

Responsável pela interface entre a rede elétrica de distribuição e os computadores ou demais equipamentos que são utilizados na conexão. Segundo Cunha (2011), o modem PLC separa os dados de baixa frequência (energia elétrica) dos sinais de alta frequência (dados). A figura número 2 mostra um exemplo de modem PLC da marca ILevo modelo ILV211



**Figura 2 - Exemplo de Modem PLC**  
Fonte: Etelecom

## **4 VANTAGENS E DESVANTAGENS EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS TECNOLOGIAS**

### **4.1 VANTAGENS**

#### **4.1.1 Sistema Elétrico já instalado**

Atualmente novos projetos de engenharia voltados para área comercial ou industrial normalmente contemplam projetos de rede interna com tecnologias bem difundidas, utilizando de meios físicos como, par metálico e/ou fibra ótica, no entanto, existem diversos casos onde a necessidade encontra-se em prédios e construções não contemplados com essas tecnologias, onde, por não ter ocorrido previsão para este tipo de instalação ou nos casos de construções antigas, pode ser utilizado o sistema elétrico já instalado para a comunicação de rede, não necessitando uma reforma e novos custos para implantação de rede lógica. Há também casos peculiares, como construções tombadas pelo patrimônio histórico, onde projetos de rede lógica interna podem se tornar muito caros ou até mesmo inviáveis. Grande parte dessas construções já possuem alguma infraestrutura elétrica instalada. Outro caso particular são prédios onde a atividade exercida dificulte a reforma e instalação de novo cabeamento, como hospitais, onde uma reforma gera um grande impacto devido, dentro outras coisas, às normas rígidas de limpeza e a interrupção do atendimento.

#### **4.1.2 Barramento compartilhado (custo compartilhado)**

Apesar de novos projetos, como já foi citado, poderem utilizar de instalações de cabeamento novas, a utilização do mesmo meio físico para distribuição de energia elétrica e transmissão de dados pode tornar o custo desses projetos consideravelmente inferior, dependendo do porte e quantidade de pontos de comunicação de dados necessários.



### **4.1.3 Redes domésticas com novas aplicações**

Cada vez mais a evolução tecnológica faz com que produtos e equipamentos utilizados em residências fiquem mais sofisticados e automatizados. Há um mercado em crescimento, que visa à automatização de tarefas domésticas, onde é possível controlar aparelhos domésticos, como máquinas de lavar, refrigeradores e cafeteiras através de comunicação via rede de dados. É possível também o controle de iluminação, temperatura e até mesmo itens de segurança de um ambiente, como janelas, portas e câmeras. A utilização do PLC pode tornar a evolução desse mercado mais rápida e viável, sendo possível a utilização desses aparelhos em qualquer tomada elétrica disponível, não necessitando de reformas ou instalação específicas para cada produto.

### **4.1.4 Inclusão digital**

A inclusão de pessoas no mundo digital através do acesso a internet talvez seja a principal vantagem que a utilização de redes PLC pode proporcionar. Como já foi citado, grande parte dos investimentos de comunicação de dados atingem somente a comunicação entre provedores (PARENTE, 2011). Com a implementação da tecnologia PLC, pessoas que residem em locais desprovidos de conexão com a internet por falta de meios físicos de transmissão de dados, podem vir a ter essa conexão disponibilizada através de poucos investimentos, por já possuírem energia elétrica nos locais em que residem. Para que isso aconteça é necessário investimento em equipamentos por parte de provedores de serviço. Em redes tradicionais de comunicação de dados a compra e instalação de equipamentos também é necessária, mas além disso, é preciso investir na ampliação do cabeamento, algo que utilizando o PLC já estaria disponível.

## **4.2 DESVANTAGENS**

### **4.2.1 Padronização**

Um grande fator que dificulta a popularização do PLC é a falta de padronização dos fabricantes de equipamentos. Segundo Cunha (2011), devido à tecnologia não estar totalmente padronizada, diversos grupos de pesquisa desenvolvem seus próprios padrões, como o *PLC Utility Alliance* na Europa, o *United Power Line Council* nos Estados Unidos e a PLC-J no Japão. Sem adoção de um padrão que seja seguido por todos os fabricantes, os equipamentos não operam entre si. A dependência de um fabricante faz com que os provedores da tecnologia PLC fiquem a mercê da evolução e do preço do produto escolhido (SANTOS, 2008).

### **4.2.2 Qualidade da rede elétrica**

Para um bom funcionamento da tecnologia PLC é fundamental a qualidade do link físico, no entanto, devido às diversas fontes de ruído possíveis de serem encontradas e evitadas em uma rede elétrica, esta qualidade é um dos fatores mais difíceis de serem garantidos, diferentemente de outros meios físicos (COPEL, 2010). Em instalações elétricas internas, emendas de má qualidade e instalações fora das normas são exemplos das dificuldades a serem superadas.

### **4.2.3 Segurança**

Embora dispositivos PLC já utilizem criptografia DES para proteção dos dados transmitidos (ROSSI, 2011), o amplo compartilhamento e fácil acesso ao meio físico utilizado em redes PLC faz com que a segurança das informações seja um fator a ser questionado.

## **5 APLICAÇÕES**

As aplicações que podem ser exploradas utilizando a tecnologia PLC são muitas. Como o PLC trabalha na camada de enlace do modelo OSI, ele pode ser implementado em redes TCP/IP já existentes, ou então ser utilizado em conjunto com outras aplicações da própria camada de enlace. Na maior parte dos estudos ou notícias que surgem sobre PLC, principalmente no Brasil, é destacada sua aplicação para comercialização e/ou distribuição de banda larga. Existem outras diversas aplicações mais específicas.

### **5.1 REDE DOMÉSTICA**

Como em redes PLC, qualquer tomada elétrica pode tornar-se um ponto de comunicação de dados, existe a possibilidade da implementação do conceito de domótica, que é a automação das funções de uma residência resultando em casas inteligentes, ligando equipamentos que tenham características inteligentes, como sensores para medir as condições de ambiente que podem interagir com uma central de comando, enviando e recebendo sinais (CUNHA, 2009). A facilidade da implementação desses equipamentos sem a necessidade de instalação de cabos para transmissão de dados, faz com que o PLC se torne economicamente vantajoso em relação aos demais tipos de implementação. Mas para isso os equipamentos tem que possuir um módulo PLC embutido, o que ainda precisa ser mais desenvolvido no Brasil.

### **5.2 VLAN, VoIP, VÍDEO**

As redes PLC suportam o protocolo 802.1Q, ou seja, é possível inserir Virtual Lan (VLAN) (COPEL, 2010). Com essa possibilidade, pode-se implementar Voz sobre IP (VoIP) e vídeo através da rede elétrica, juntamente com a transmissão de dados e de energia elétrica, tudo isso através de uma única conexão física. Já existem projetos de telefone VoIP utilizando modems PLC (CUNHA, 2009).

### **5.3 MONITORAMENTO E VIGILÂNCIA**

Sem a necessidade de passar cabos específicos para câmeras de vigilância, o PLC pode ser uma solução ágil e econômica para sistemas de monitoramento. Basta ligar as câmeras a qualquer ponto de energia, e na recepção do sinal, instalar um modem onde o vídeo é recuperado. Já existem e são vendidas câmeras em versões que contêm um modem PLC (CUNHA, 2009). Utilizando esse mesmo conceito, mas com apenas algumas alterações é possível também implementar a tecnologia PLC no monitoramento de trânsito, onde com toda a capilaridade da rede de energia elétrica, as possibilidades se tornam imensas.

### **5.4 ESPECÍFICOS PARA EMPRESAS DE ENERGIA E ÁGUA**

Além das aplicações que foram citadas acima, outra possibilidade está na medição de serviços de energia elétrica e água. Se conectados a uma rede de dados, os medidores tanto de água quanto de luz podem transmitir informações em tempo real sobre o consumo, possíveis vazamentos ou até mesmo interrupções ou irregularidades no fornecimento. Um exemplo dessa utilização está na implantação de um sistema de leitura de água utilizando a tecnologia PLC, em um condomínio no estado de São Paulo, em parceria com o Governo e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), onde hidrômetros são dotados de modems PLC conectados à rede elétrica do imóvel (CUNHA, 2006). Esses modems são conectados a uma unidade concentradora, que envia as informações para uma central de controle, que por sua vez faz o monitoramento do consumo e emite contas de água.

## **6 REGULAMENTAÇÃO**

No Brasil, a regulamentação e as normas para o desenvolvimento e distribuição do PLC, são responsabilidades da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Resumidamente, a ANEEL é responsável por fiscalizar a qualidade da energia elétrica e verificar se a exploração do PLC não está afetando a qualidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores. A ANATEL regula e acompanha a qualidade do serviço de transmissão de dados (ANEEL, 2015). No decorrer do ano de 2009, as duas agências emitiram resoluções definindo as regras para a exploração do PLC.

### **6.1 RESOLUÇÃO Nº 527 DA ANATEL**

Em 13 de abril de 2009, foi publicada no diário oficial da união a resolução 527/2009 da ANATEL. Ela regulamenta as condições de uso de radiofrequências por sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica.

Uma das disposições gerais, estabelece que a comunicação só pode ocorrer na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 50 MHz, como já foi descrito anteriormente. Dentre outras determinações, estão descritas na resolução, cinco características técnicas a serem seguidas:

I - incorporar técnicas de mitigação de interferências que possibilitem reduzir remotamente a potência do sinal e remanejar as frequências em operação em tais sistemas, incluindo filtros ou permitindo o completo bloqueio de radiações indesejadas em frequências ou de faixas de frequências, em conformidade com este Regulamento.

II - para frequências abaixo de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 20 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

III - para frequências acima de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser

capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 10 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

IV - manter as configurações de mitigação de interferência, mesmo quando houver falta de energia na rede ou quando o equipamento for desligado e religado, de forma consecutiva ou esporádica.

V - dispor de mecanismo que possibilite, remotamente, a partir de uma central de controle, o desligamento da unidade causadora de interferência prejudicial, caso outra técnica de mitigação não alcance o resultado esperado.

## **6.2 RESOLUÇÃO Nº 375 DA ANEEL**

Assim como a ANATEL, também em 2009 a ANEEL publicou uma resolução normativa datada em 25 de agosto de 2009. Essa normativa regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.

A resolução possui dentre outras normas, uma definição dizendo que o prestador de serviço PLC é toda pessoa jurídica detentora de autorização nos termos da regulamentação da ANATEL para exploração comercial de serviço de telecomunicações utilizando a tecnologia PLC. Essa definição evidencia mais uma vez que comercialmente a ANATEL é responsável pelo PLC. Também nesta resolução, está descrito que as distribuidoras de energia elétrica têm liberdade para fazer uso privativo da tecnologia PLC nas atividades de distribuição de energia elétrica, ou aplicação em projetos sociais, com fins científicos ou experimentais, observadas as prescrições do contrato de concessão ou permissão e da legislação específica.

## 7 ESTUDOS DE CASO EM ANDAMENTO NO BRASIL

Existem no mundo diversos estudos de caso e implementações já comercializadas da tecnologia de transmissão de dados via rede elétrica. No Brasil, essa tecnologia vem sendo estudada e implementada com mais ênfase desde o ano 2000.

### 7.1 ESTUDO DE CASO DA CEMIG

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) desenvolveu o projeto piloto da tecnologia PLC no Brasil nos anos de 2001 e 2002. O projeto abrangeu diversos tipos de infraestrutura elétrica, como casas, apartamentos e escolas da rede pública, sendo um total de quarenta pontos ativos e com uma banda de 2Mbps. O local escolhido foi a cidade Belo Horizonte, nos bairros Vila Paris e Belvedere.

No decorrer do projeto, os consumidores avaliavam a qualidade de acesso através de um formulário online. A primeira avaliação após cinco meses apontou que 53% dos usuários consideraram a conexão ótima ou boa, já a segunda nos últimos sete meses, apontou 94% para conexões boas ou ótimas (ROCHA, 2015).

Após a conclusão do projeto, os resultados técnicos finais foram publicados em Janeiro de 2003, onde destacou-se a influência da carga da rede no desempenho, onde, maior a carga, maior era degradação no acesso dos usuários (VARGAS, 2004). Segundo a gerência de suporte da CEMIG, esta situação estava diretamente relacionada com o perfil dos consumidores, e para que fosse resolvida, caberia aos projetistas de equipamentos PLC desenvolver módulos de correção dinâmica para compensar de forma eficiente as constantes alterações do perfil de carga atrelado ao sistema, tanto no ambiente *indoor* quanto *outdoor*. Também foi destacado que as características construtivas dos cabos elétricos no Brasil em comparação aos Europeus eram mais desfavoráveis ao tráfego de sinais PLC, além do perfil de carga doméstica mais agressivo em termos de consumo e tipo. A conclusão final da CEMIG foi que o acesso comercial via PLC seria viável se alterações necessárias fossem implementadas (PINTO, 2004).

## 7.2 ESTUDO DE CASO DA COPEL

A Companhia Paranaense de Energia apresentou em 2010 o relatório técnico da avaliação da tecnologia PLC, que foi desenvolvida em 2009, tendo alguns testes laboratoriais desenvolvidos ainda em 2008. Antes dessa avaliação, a COPEL já havia efetuado testes da tecnologia em 2001, na cidade de Curitiba, no bairro Água Verde, com 50 usuários. No entanto, segundo relatório da própria companhia, a tecnologia apresentou diversos problemas devido a restrições tecnológicas (COPEL, 2010). Do ano de 2001 até 2009, houve um grande avanço na tecnologia, o que possibilitou novos e mais avançados testes da tecnologia PLC pela COPEL.

Os testes foram inicialmente realizados em 2008, em um laboratório desenvolvido dentro do Pólo KM3 da empresa. Após esses testes, foi instalada uma nova estrutura em duas agências da Companhia, no Centro e no bairro de Santa Felicidade.

Para o principal estudo de caso, foi escolhida a cidade de Santo Antônio da Platina, no norte do estado do Paraná, cidade com população atual de aproximadamente 42.700 habitantes (IBGE, 2015). Segundo a COPEL, a cidade foi escolhida principalmente por quatro fatores,

I – Não ser muito grande, nem muito pequena;

II – Estar na rota do principal anel de *Backbone* Óptico, passagem da rede de transporte e rede *Ethernet* de comunicação;

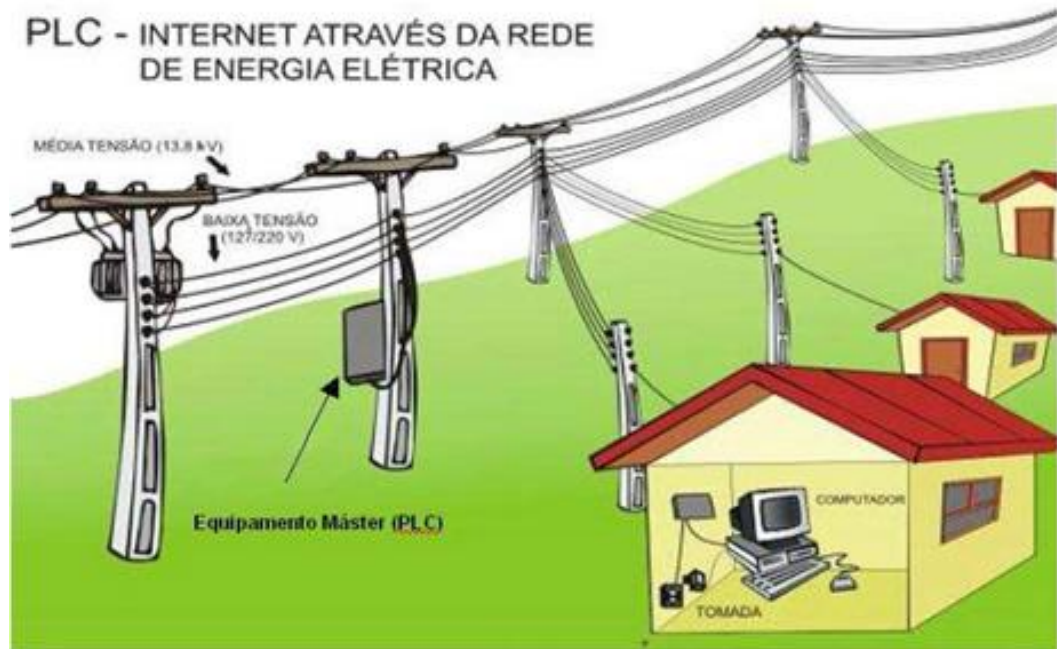
III – Ter equipes da subsidiária de Distribuição de Energia da COPEL;

IV – Ter equipes da subsidiária de Telecomunicações da COPEL.

Foram instalados 10 circuitos na cidade, que contaram com diversos tipos de consumidores, como áreas comerciais, áreas residenciais mais ricas e mais humildes e áreas industriais, somando aproximadamente trezentos usuários.

A COPEL implementou o modelo de ACESSO, provendo comunicação de última milha, onde o modem *master* é alimentado por fibra óptica, transformando o sinal recebido em PLC (CORRÊA, 2004). Segue abaixo uma figura demonstrativa da topologia básica.





**Figura 3 - Topologia Básica PLC**  
**Fonte: COPEL**

Foi disponibilizada uma banda de 100Mbps para ser compartilhada entre todos os usuários de Santo Antônio da Platina. Na maioria dos usuários foi obtida uma velocidade na faixa de 5 a 10Mbps. Segundo a empresa, nos testes de bancada, utilizando um ambiente ideal, foi conseguido aproximadamente 70Mbps de velocidade.

### 7.2.1 Avaliação na Rede Externa

Após os testes nos 10 circuitos instalados pela COPEL, algumas questões e dificuldades quanto à rede elétrica outdoor ficaram evidentes.

Houve uma irregularidade quanto aos ruídos na rede dos circuitos e sua extensão. Em alguns casos, mostrou-se a necessidade da instalação de mais repetidores, permitindo que o sinal chegasse com um nível razoável em grande parte do circuito, mas mesmo assim deixando alguns pontos sem sinal. Em outros, havia pouco ruído e a menor necessidade de inserir repetidores no decorrer dos circuitos. Segundo o relatório da COPEL, em alguns casos foi possível detectar a

causa dos ruídos, em alguns foi possível estimar as causas e em outros não foi possível descobrir o motivo da interferência na rede.

Através dos testes, pode-se afirmar a possibilidade de cascadeamento de repetidores, onde embora a configuração dos equipamentos seja complexa tornou-se uma solução relativamente viável e funcional.

### **7.2.2 Dificuldades na Rede Interna**

Além das dificuldades encontradas na rede de distribuição de energia da própria COPEL, outro grande fator que dificultou a qualidade do sinal PLC nos consumidores foi a rede interna dos locais. Segundo o relatório apresentado, diversas residências ou comércios possuíam a rede elétrica interna fora dos padrões e até mesmo com grandes falhas na instalação. Uma readequação completa da rede elétrica interna, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) beneficiaria muito a qualidade do sinal PLC. Locais com áreas construídas grandes também dificultam a qualidade do sinal devido a malha elétrica ser extensa.

Durante os testes, foram detectados vários causadores de ruídos que são comuns em instalações elétricas, como lâmpadas fluorescentes, lâmpadas compactas e diversos equipamentos que possuem fonte chaveada, tais como carregadores de celular, computadores, televisores e outros semelhantes. Esses equipamentos demonstraram grande potencial de gerar ruídos, interferir e conseqüentemente diminuir a qualidade da transmissão no PLC.

Para diminuir a interferência causada pelos equipamentos nas redes internas dos consumidores, foram testados filtros, que segundo o relatório da COPEL, tem função semelhante aos filtros ADSL instalados nas tomadas de telefone e já conhecidos por sua eficiência. No entanto, alguns filtros não se mostraram eficientes, além de vários deles não serem compatíveis com o padrão brasileiro, sendo então necessário o desenvolvimento de novos filtros adequados, podendo assim, melhorar a capacidade de eliminar os ruídos na rede elétrica.

### 7.2.3 Conclusão da COPEL

Após a conclusão do relatório técnico de avaliação da tecnologia PLC em Santo Antônio da Platina, a COPEL concluiu que estando a rede elétrica interna dos clientes devidamente adequadas às normas da ABNT, a tecnologia funciona. Segundo a avaliação realizada pela empresa, cerca de 90% dos usuários que participaram dos testes classificaram a velocidade oferecida como Muito Boa e Boa, estando muitos desses usuários dispostos a adequar a sua rede elétrica interna para usufruir do serviço. No entanto, a cidade não conta com serviços mais modernos de conexão, como *Cable Modem* ou ADSL2+, o que segundo o relatório, tornaria o resultado da avaliação bem diferente.

Dentre os pontos a serem melhorados e dificuldades encontradas, o relatório cita alguns de grande importância, como o custo por usuário durante o estudo de caso, que foi de seis mil reais, e segundo a COPEL, seria mais barato levar uma rede de fibra óptica passiva até cada residência e com um resultado infinitamente superior.

Por fim, o relatório conclui que ainda não é possível afirmar a viabilidade da implantação da tecnologia PLC no Brasil, mas com o desenvolvimento de novos equipamentos, principalmente dentro dos padrões brasileiros e com incentivo do governo, a tecnologia PLC tem grande potencial, tornando-se uma alternativa para o desenvolvimento e inclusão digital.

## 8. CONCLUSÃO

É perceptível que a tecnologia PLC tem um grande potencial para sofrer uma expansão e conseqüente popularização no mercado de transmissão de dados. As aplicações possíveis são inúmeras, como visto no capítulo 5, seu uso vai da transmissão de dados com benefícios exclusivos para as empresas fornecedoras de energia elétrica até uma grande ferramenta para inclusão digital de várias pessoas que atualmente encontram-se impedidas de acessar o mundo virtual.

Através dos testes e estudos de caso já realizados no Brasil, fica evidente que em condições ideais a tecnologia funciona e é viável, no entanto, como demonstrado no estudo de caso da COPEL apresentado no capítulo 7 deste trabalho, a falta de padronização das instalações elétricas contribui consideravelmente para a falta de sucesso na transmissão de dados pela rede de energia elétrica.

Um fator a ser destacado está na questão da regulamentação da tecnologia. Como foi possível observar, embora desde 2009 o governo brasileiro já tenha dado um importante passo através das regulamentações da ANEEL e da ANATEL a respeito da tecnologia PLC, ainda são poucas as regras que definem sua utilização. Assim como regular o uso, também é fator de grande importância a padronização dos equipamentos, fator esse que foi sempre destacado em dificuldades nas aplicações da tecnologia. Além da padronização, os produtos também precisam ser nacionalizados e sofrerem incentivos do governo nacional para que possam ter um custo mais baixo e tornem a implementação da tecnologia PLC mais atrativa se comparada com outros meios atuais de comunicação de dados.

Apesar das inúmeras aplicações domésticas e coletivas já apresentadas, e o seu potencial de inclusão de pessoas no mundo digital, a tecnologia PLC ainda tem um longo caminho a percorrer até que possa torna-se popular e viável comercialmente no Brasil. É importante manter o tema em estudo e uma constante discussão sobre sua evolução, no entanto o seu sucesso ou esquecimento no futuro parece ficar nas mãos dos interesses econômicos que possam girar em torno dessa tecnologia tão promissora.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Internet pela Rede Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc/>>. Acesso em: 25 mar. 2015, 18:55.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Relatório Técnico da Avaliação da Tecnologia Powerline Communications (PLC)**, Curitiba, mar. 2010.

CORRÊA, Josias R. **PLC - Power Line Communications**. 2004. 51 f. Projeto de Final de Curso (Graduação) – Bacharelado em Sistemas de Informação. União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, 2004. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/56734425/PLC-TCC-Josias-Rodrigues>>. Acesso em: 25 mar. 2015, 22:45.

CUNHA, Alessandro F. Power Line Communication – PLC: A Informação que vem pela Tomada. **Revista Saber Eletrônica**, São Paulo, ed. 405, p. 20-26, out. 2006.

CUNHA, Alessandro F. Power Line Communication. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, ed. 44, set. 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/141-plc-power-line-communication.html>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

ETELECOM. Disponível em: <[http://www.etelecom.es/img/dinamic/ILV211\\_Data\\_sheet\\_ENG\\_PM1080\\_1\\_A.pdf](http://www.etelecom.es/img/dinamic/ILV211_Data_sheet_ENG_PM1080_1_A.pdf)>. Acesso em: 18 mar. 2014, 19:20.

IBGE. **Santo Antônio da Platina**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412410>>. Acesso em: 25 mar. 2015, 18:00.

PARENTE, Dante A. **Estudos de Sistemas PLC**. 2011. 62 f. Projeto de Final de Curso (Graduação) - Engenharia de Teleinformática. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <[http://www.cgeti.ufc.br/monografias/DANTE\\_AGUIAR\\_PARENTE.pdf](http://www.cgeti.ufc.br/monografias/DANTE_AGUIAR_PARENTE.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2015, 19:50.

PINTO, Eliel Marlon de L. **Uma Análise de Utilização da Tecnologia PLC/BPL para Inclusão Digital no Estado de Santa Catarina**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGCC0633.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2015, 20:15.

ROCHA, André Luiz. **A Tecnologia Power Line Communication – Transmissão de dados via Rede Elétrica**. 2009. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação em Redes de Computadores). Escola Superior Aberta do Brasil - ESAB, Vila Velha, 2009. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/37730616/Monografia-A-Tecnologia-Power-Line-Communication-PLC>>. Acesso em: 24 mar. 2015, 23:35.

ROSSI, Cristiane Z. **Power Line Communications e sua Projeção Futura**. 2011. 50 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/649/1/CT\\_TELEINFO\\_XIX\\_2011\\_05.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/649/1/CT_TELEINFO_XIX_2011_05.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2015, 18:45.

SANTOS, Túlio L. **Power Line Communications**. 2008. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/tulio](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio)>. Acesso em: 18 mar. 2015, 19:20.

VARGAS, Alessandra A. **Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial**. 2004. 65 f. Projeto de Diplomação (Graduação) - Engenharia de Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~fetter/plt/TrabalhoConclusaoAlessandra.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2015, 21:20.