

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
LUIZ HENRIQUE RODRIGUES DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA *POWER LINE*
COMMUNICATION (PLC) COMO ALTERNATIVA DE CABEAMENTO
ESTRUTURADO**

**CASCADEL
2023**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
LUIZ HENRIQUE RODRIGUES DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA *POWER LINE*
COMMUNICATION (PLC) COMO ALTERNATIVA DE CABEAMENTO
ESTRUTURADO**

Estudo de caso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para obtenção de parcela de nota na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Professor(a): Esp. Ederson Zanchet

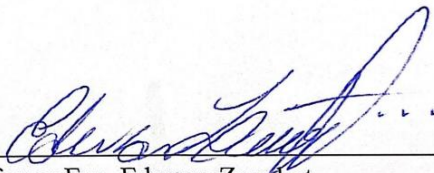
**CASCADEL
2023**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
LUIZ HENRIQUE RODRIGUES DA SILVA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE SISTEMA *POWER LINE*
COMMUNICATION (PLC) COMO ALTERNATIVA DE CABEAMENTO
ESTRUTURADO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Especialista Ederson Zanchet.

BANCA EXAMINADORA



Professor Esp. Ederson Zanchet
Centro Universitário da FAG



Professor Me. Helder José Costa Carozzi
Centro Universitário da FAG



Professor Me. João Paulo Man Kit Sio
Centro Universitário da FAG

DEDICATÓRIA

Este estudo dedico a minha família, que me ajudou de maneira indescritível e são a base da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz Carlos Fonseca da Silva e Maria Isanir Faustino da Silva e a minha irmã Ingli Caroline Silva, meu cunhado Rafael Martins Ferreira e minha querida sobrinha Valentina Ferreira, por me apoiarem em todos os momentos e acreditarem em mim mais do que eu jamais poderia desejar. Nos momentos que mais precisei, foram vocês que mantiveram a chama acesa, motivando-me a continuar essa caminhada.

A todos meus amigos, em especial Artur, Fábio, Guilherme Ladoruski, Guilherme Ozanski, Gustavo e Matheus, que foram compreensivos em todos os momentos que tive que me ausentar e agradecer por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e compartilhando as vitórias e derrotas dessa vida.

Aos meus colegas de graduação, em especial Welton e Gilmar, por dividirem vários momentos complicados, horas de estudos, trabalhos e vitórias comigo.

Aos meus professores da graduação, em especial ao meu orientador Ederson Zanchet pelo apoio e instrução.

Quero expressar minha profunda gratidão à engenheira eletricista Denise da Costa Canfild por todo aprendizado e orientação profissional durante o estágio.

Não posso deixar de expressar minha gratidão a minha psicóloga Sandra por toda ajuda e apoio nesse tempo.

Gostaria de estender meus sinceros agradecimentos para as pessoas que fizeram parte da minha vida, em algum momento, e me apoiaram nesse processo, motivando-me e servindo de apoio.

RESUMO

Este estudo analisa a viabilidade de implantação de um sistema PLC como alternativa de cabeamento estruturado. Para tanto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema, com intuito de fundamentar o projeto posterior, bem como uma análise de dados e informações sobre o sistema e seu funcionamento. O sistema PLC consiste na transmissão de dados, por meio da rede elétrica. Neste trabalho, analisar-se-á especificamente a sua viabilidade como alternativa de cabeamento estruturado. A implantação desse sistema pode trazer benefícios para locais de pequeno porte, como a redução de custos e otimização do uso de recursos. Para avaliar a viabilidade técnica, realizou estudos de custo-benefício, análises financeiras e análises técnico-comparativas, que indicaram a possibilidade de viabilidade e baixo custo para investimento. No entanto o sistema PLC também apresenta desafios, como a sensibilidade às interferências de dispositivos eletrônicos, assim diminuindo sua qualidade de transmissão e o acoplamento de dados de entre fases diferentes. Diante disso, o presente estudo conclui que a implantação de um sistema PLC para um escritório de pequeno porte pode ser viável, desde que seja realizado certos cuidados e adaptações adequadas.

Palavras-Chave: Transmissão, Cabeamento, Viabilidade, Sistema, Interferência.

ABSTRACT

This study analyzes the feasibility of implementing a PLC system as an alternative for structured cabling. Therefore, a bibliographical research on the subject was carried out, in order to substantiate the subsequent project, as well as an analysis of data and information about the system and its operation. The PLC system consists of the transmission of data through the electrical network. In this work, it will be analyzed specifically its viability as an alternative for structured cabling. The implementation of this system can bring benefits to small locations, such as reducing costs and optimizing the use of resources. To evaluate the technical feasibility, carried out cost-benefit studies, financial analysis and technical-comparative analysis, which indicated the possibility of viability and low cost for investment. However, the PLC system also presents challenges, such as the sensitivity to interferences of electronic devices, thus decreasing their transmission quality and data coupling between different phases. Therefore, the present study concludes that the planting of a PLC system for a small office can be feasible, provided that certain care and appropriate adaptations are performed.

Keywords: Transmission, Cabling, Viability, System, Interference.

LISTA DE SIGLAS

AES	Advanced Encryption Standard
AM	Amplitude Modulation
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Application
BB	BroadBand
BPL	Banda Larga por Meio da Rede Elétrica
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
dB	Decibéis
DSP	Digital Signal Processing
EMC	Electromagnetical Compatibility
EMI	Interferência Eletromagnética
EN	European Committee
FCC	Federal Communications Commission
FEC	Forward Error Correction
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
Gbps	Gigabits por Segundo
G.hn	Gigabit Home Networking
HDR	High Data Rate
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

iOS	iPhone Operating System
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Quilobits por Segundo
KHz	Quilo Hertz
kW	Quilo Watts
LAN	Local Area Network
LDR	Low Data Rate
MAC	Medium Access Control
Mbps	Megabits por Segundo
MDI/X	Medium Dependent Interface Crossover
MHz	Mega Hertz
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
NB	Narrow Band
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPLAT	Onda Portadora em Linhas de Alta Tensão
ORSE	Orçamento de Obras de Sergipe
OSI	Open System Interconnection
PLC	Power Line Communication
PLIC	Power Line Indoor Communications
PLOC	Power Line Outdoor Communications
PM	Phase Modulation
PRIME	Power Line Interlligent Meter Evolution
QAM	Quadrature Amplitude Modulation

QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequência
RMT	Redes de Média Tensão
RBT	Redes de Baixa Tensão
SIMET	Sistema de Medição de Tráfego Internet
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SISO	Single-Input Single-Output
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
UNB	Ultra Narrow Band
USB	Universal Serial Bus
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPA/PSK	Wi-Fi Protected Access with Pre-Shared Key

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: <i>HomePlug</i> 1.0	12
Figura 2.2: Caixa de Comunicação PLC	18
Figura 3.1 Fluxograma para desenvolvimento do projeto	21
Figura 3.2: Layout do escritório.	26
Figura 3.3: Projeto de cabeamento estruturado.	27
Figura 4.1: Comparativo de custos dos equipamentos.	35
Figura 4.2: Acoplador de fases da marca Sedna©.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RBT	15
Tabela 2.2 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RMT.	15
Tabela 2.3: Comparativo entre os principais meios de transmissão de dados e suas características.....	19
Tabela 3.1: Dados técnicos do dispositivo 1200+.	23
Tabela 3.2: Dados técnicos do hardware do adaptador TL-WPA4220.....	24
Tabela 3.3: Características de software do dispositivo da marca TP-Link©.	25
Tabela 3.4: Custos dos dispositivos da marca Devolo©.....	28
Tabela 3.5: Custos dos dispositivos da marca TP-Link©.....	28
Tabela 3.6: Custos do sistema de cabeamento estruturado.....	29
Tabela 4.1: Características de sistema de cabeamento estruturado e PLC.	31
Tabela 4.2: Comparativo entre dispositivos 1200+ e TL-WPA4220.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	4
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
2.1 <i>POWER LINE COMMUNICATION</i>	5
2.1.1 Legislação e Regulamentação.....	7
2.1.2 Vantagens da tecnologia PLC	8
2.1.3 Desafios para implementação da tecnologia PLC	9
2.2 TOPOLOGIA E EQUIPAMENTOS	11
2.2.1 Técnicas de Modulação para Tecnologia PLC	13
2.3 TECNOLOGIA PLC NO BRASIL.....	14
2.3.1 Regulamentação e Normas	14
2.3.2 Estudo de Caso da COPEL	16
2.3.3 Caixas de Comunicação em sistemas fotovoltaicos	17
2.4 COMPARATIVO ENTRE PLC E OUTRAS TECNOLOGIAS.....	18
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO CENÁRIO.....	22
3.2 DEFINIÇÃO DE PROTOCOLO E MARCAS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLC	22
3.2.1 Levantamento de marcas para implantação do sistema PLC.....	23
3.2.2 Projeto do escritório.....	25
3.2.3 Materiais e custos para instalação.....	27
3.3 TRANSIENTES DA REDE ELÉTRICA	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS.....	31
4.1.1 Largura de Banda.....	32
4.1.2 Desempenho e Interferências.....	33
4.1.3 Manutenção dos Sistemas.....	34
4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO.....	34
4.3 ANÁLISE DOS ADAPTADORES PLC	36
4.4 ACOPLAMENTO DE DADOS	37
5 PROPOSTAS DE PROJETOS FUTUROS	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, em que a necessidade de conectividade digital está em constante crescimento, a busca por soluções eficientes e sustentáveis para a transmissão de dados em ambientes residenciais e comerciais tornou-se uma prioridade. A infraestrutura de rede desempenha um papel fundamental nesse cenário, sendo essencial explorar tecnologias inovadoras que possam atender a essas demandas de forma eficaz.

A integração de tecnologias inovadoras nas infraestruturas prediais tem se tornado um recurso de grande relevância para o eficaz gerenciamento, otimização e economia de recursos, resultando em uma infraestrutura mais robusta e confortável para seus usuários. A crescente oferta no mercado de uma diversidade de dispositivos eletrônicos voltados para o controle de processos tem despertado o interesse de múltiplas áreas do conhecimento.

Um dos principais desafios enfrentados pela expansão de cabeamento estruturado reside nas dificuldades logísticas e custos associados à instalação de novos cabos em edifícios existentes. Isto inclui a necessidade de quebrar paredes, pisos e tetos, além de lidar com os inconvenientes causados pelo tempo de inatividade durante o processo de instalação. Além disso, em edifícios históricos ou locais onde a infraestrutura de cabeamento é limitada, a expansão torna-se ainda mais complexa e dispendiosa.

Nesse contexto, surge a imperatividade de investigar a viabilidade de soluções de transmissão acessíveis e de custo reduzido, com o intuito de ampliar o acesso à Internet a um público mais amplo, promovendo assim a inclusão digital. Considerando a crescente demanda por conectividade de alta qualidade e os desafios enfrentados durante a implantação, particularmente na fase de última milha, a tecnologia PLC apresenta-se como uma alternativa.

O foco do estudo recai sobre a obtenção de dados e informações que demonstrem se o sistema PLC gerará melhorias eficientes ou, distintamente, apenas a execução da mesma tarefa. O estudo buscou demonstrar se o sistema PLC pode ser viável diante um sistema de cabeamento estruturado padrão.

O objetivo do estudo é estudar o funcionamento e a viabilidade de implantação de um sistema PLC, em um cenário de escritório de pequeno porte. Busca-se compreender exatamente o funcionamento dos sistemas PLC e todas suas estruturas necessárias para seu funcionamento, as vantagens e desvantagens, bem como suas limitações.

Tanto a análise quanto a validação serão obtidas por meio de análises técnicas de equipamentos para esse sistema.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

No interior do objetivo, busca-se desenvolver conceito básico sobre sistemas PLC, especialmente analisando sua viabilidade como alternativa de cabeamento estruturado.

Especificamente, o estudo será direcionado para a análise sobre as áreas dos tipos de PLC, modulação para comunicação e viabilidade de implementação. Essa tecnologia vem sendo muito estudada devido a parte da infraestrutura existente (cabos de energia) e de instalação simples. Assim, busca-se verificar a utilização da tecnologia para aplicação como alternativa de cabeamento estruturado.

2.1 POWER LINE COMMUNICATION

A tecnologia de PLC é capaz de transportar dados e transmitir energia elétrica através das próprias linhas de energia. Uma das principais vantagens do PLC é que ele não requer uma infraestrutura de comunicação separada, pois utiliza as linhas elétricas já existentes, o que facilita sua instalação. Além disso, o PLC pode ser conectado a diversas redes através de uma rede principal. Outra vantagem é que os dispositivos podem se conectar ao sistema facilmente, ao serem conectados a uma tomada elétrica, por meio do cabo de alimentação (KIM *et al*, 2011).

Desde o início dos anos 1920, o *Power Line Carrier*, também conhecido como Onda Portadora em Linhas de Alta Tensão (OPLAT), tem sido empregado pelas empresas de energia para comunicação, incluindo telemetria, telecontrole e voz. Desde então, o *Power Line Carrier* tem sido utilizado pelas empresas de energia para comunicação, abrangendo telemetria, telecontrole e voz (FARIA *et al*, 2010).

De acordo com Faccione (2008), de acordo com relatos, os primeiros experimentos ocorreram em 1838. Não obstante, a primeira patente só foi registrada em 1897. Foi somente em 1913 que o uso comercial teve início, com a tecnologia sendo utilizada exclusivamente para comunicação de dados em taxas de até 9,6 quilobits por segundo (kbps) e voz entre subestações de transmissão de energia elétrica com níveis entre 69kV e 500kV.

Por muito tempo, a utilização da tecnologia PLC foi limitada devido à falta de ferramentas tecnológicas capazes de contornar os efeitos da impedância, ruídos harmônicos e atenuação presentes na linha de transmissão de energia elétrica. No entanto, com o desenvolvimento dos primeiros microcontroladores e, posteriormente, o surgimento dos *Digital Signal Processing* (DSP), foi possível contornar essas limitações. Na década de 1980, a tecnologia PLC passou a operar em velocidades de até 144kbps (FACCIONE, 2008).

A motivação principal para o desenvolvimento de sistemas de Comunicação por Linha de Distribuição tem sido facilitar a leitura remota de medidores. Isto inclui não apenas medidores de eletricidade, mas também de água, gás e temperatura. Os avanços nesse sentido tiveram início nos Estados Unidos, onde os salários dos leitores de medidores são relativamente altos e as empresas de eletricidade não podem cobrar dos clientes um valor fixo mensal, como é comum na Europa (FERREIRA *et al*, 1999).

Conforme Lutz *et al* (2014), a caracterização de linhas de energia e redes de linha de energia como meios de transmissão para sinais de comunicação digital é um dos primeiros e fundamentais passos para o projeto e implementação bem-sucedidos de sistemas PLC. Nesses casos, a compatibilidade eletromagnética (EMC - *Electromagnetical Compatibility*) é um fator fundamental na implantação de um sistema de comunicação.

Segundo Galli (2011), a tecnologia PLC pode se dividir em três áreas, conforme os itens de a até c:

- a. *Ultra Narrow Band* (UNB): A tecnologia UNB opera a 100 bps na banda de baixa frequência (LDR – *Low Data Rate* NB-PLC) e é usada para controle de carga, por meio de comunicação unidirecional. Apesar da taxa de dados baixa, a UNB tem um alcance operacional extenso de centenas de quilômetros.
- b. *Narrow Band* (NB-PLC): é definido nas bandas da Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*), 3 - 148,5 kHz na Europa e possui tecnologias de portadora única, que alcançam taxas de dados de alguns kbps. Hoje em dia, as tecnologias de *multicarrier*, que são capazes de atingir taxas de dados de até 500 kbps, são, frequentemente, utilizadas *High Data Rate* NB-PLC (HDR NB-PLC).
- c. *Broadband* (BB-PLC): é usada nas bandas de alta frequência de 1,8 - 250 MHz e tem taxas de dados, que variam de vários *megabits* por segundo até centenas de Mbps. (GALLI, 2011).

Segundo Silva *et al* (2003), a escolha da faixa de frequência a ser usada varia de acordo com a região. Na Europa, a CENELEC definiu a faixa de 3 a 148.5 KHz. Já na América Central e do Sul, a faixa de 1 a 30 MHz é utilizada para fornecer serviços de acesso rápido.

Conforme Lutz *et al* (2014), nos primeiros anos da década de 2000, uma segunda onda de inovação despertou um renovado interesse no NB PLC. Com a ideia da *Smart Grid* começando a ganhar forma, as empresas de energia elétrica passaram a considerar o PLC como

uma maneira eficiente e confiável de criar uma infraestrutura de comunicação.

Embora as soluções NB PLC já estivessem disponíveis para fornecer serviços básicos, como AMR, os métodos de transmissão bem-sucedidos usados no BB PLC foram adotados para criar uma classe de sistemas HDR NB PLC, que oferecem suporte a taxas de transferência de dezenas de kbps a cerca de 500 kbps. As especificações desse sistema foram publicadas nas normas ITU-T G.9901-9904 e IEEE 1901.2 (LUTZ *et al*, 2014).

Com o crescimento do uso de redes domésticas, é comum que diversos provedores adotem a abordagem de combinar a tecnologia sem fio e o PLC para fornecer conexões com maior velocidade e menor perda de sinal. No âmbito do uso residencial dessas redes, o PLC se destaca devido a sua facilidade de implementação, custo acessível e, principalmente, por não exigir a instalação de novos cabos na residência para a implantação de novas redes (NETO *et al*, 2017).

Conforme Mlynek *et al* (2015), a economia de custos é a principal vantagem em não ter que construir nova infraestrutura. Porém, é importante considerar o custo da implantação de repetidores para equilibrar a equação. Existem muitos fatores que podem afetar o caminho da comunicação e as perdas de caminho, incluindo ruído, tipo de cabo, carga, impedâncias, clima, entre outros.

2.1.1 Legislação e Regulamentação

De acordo com Berger *et al* (2015), a norma CENELEC estabelece quatro faixas de frequência, designadas como A (3–95 kHz), B (95–125 kHz), C (125–140 kHz) e D (140–148,5 kHz). Além de definir limites de transmissão e os procedimentos de medição correspondentes, a norma CENELEC também estipula que apenas fornecedores de energia e seus licenciados podem utilizar a faixa A, enquanto as demais faixas podem ser utilizadas por consumidores. Ademais, dispositivos que operam na faixa C devem aderir ao protocolo de acesso múltiplo com detecção de portadora e prevenção de colisão (CSMA/CA), que impõe um período máximo de retenção do canal de 1 segundo, uma duração mínima de 125 milissegundos entre usos do canal pelo mesmo dispositivo e um tempo mínimo de 85 milissegundos antes de declarar que o canal está livre.

De acordo com G. Marques (2009), o conjunto de normas EN50065 estabelecido pela CENELEC regula diversos aspectos, tais como os níveis de sinal, o tipo de modulação (banda base ou espectro amplo), a interferência com eletrodomésticos, a segurança dos desacopladores de isolamento e acopladores de fase (detalhados ao longo deste trabalho) e a impedância dos

eletrodomésticos. Além disso, a norma R205-006:1996, também da CENELEC, define protocolos de comunicação, integridade de dados e a interface para aplicações.

É importante destacar que qualquer aplicação que esteja em conformidade com as normas da CENELEC automaticamente atenderá aos requisitos das normas americanas *Federal Communications Commission* (FCC), japonesas e canadenses, as quais possuem critérios menos rigorosos (G. MARQUES, 2009).

2.1.2 Vantagens da tecnologia PLC

A utilização de PLC possibilita a redução dos custos associados à instalação da infraestrutura lógica. Além disso, oferece maior flexibilidade no planejamento das redes de dados de banda larga, que são essenciais para atender à crescente demanda de transmissão de dados gerada nesse tipo de operação (COELHO, 2018).

De acordo com PILARSKI (2015), pode se listar algumas vantagens para utilização do sistema PLC, conforme os itens a até c:

- a. Sistema Elétrico existente;
- b. Redes Domésticas com novas aplicações;
- c. Inclusão Digital: Por intermédio da adoção da tecnologia PLC, é possível fornecer conexão à internet para pessoas que residem em áreas sem acesso devido à falta de infraestrutura física para transmissão de dados. Isto pode ser viabilizado com baixos investimentos, uma vez que essas áreas já possuem energia elétrica disponível.

A tecnologia PLC comparada com as outras tecnologias de banda larga, oferece algumas vantagens, dispostas de a até c:

- a. A tecnologia PLC permite a transmissão simultânea das três principais aplicações, voz (telefone IP), dados (computador) e imagens (vídeo), em uma única rede;
- b. Todas as informações transmitidas por meio dessa rede são protegidas por uma chave de criptografia DES de 56 bits;
- c. Uma vantagem adicional é a possibilidade de expandir uma rede de cabos Ethernet existente, conectando-a a uma rede PLC. Isto proporciona maior flexibilidade e aproveitamento dos recursos de infraestrutura já disponíveis.

Além disso, com a constante evolução dos equipamentos e acessórios atuais, é possível alcançar taxas de transmissão que variam de alguns *megabits* por segundo (Mbps) até dezenas

ou centenas de Mbps. Essa capacidade de transmissão de alta velocidade permite suportar a demanda crescente por transferência de dados de forma eficiente (DELGADO *apud* LITTLE, 2006).

Conforme Melo Junior e Mendes (2009), uma das principais vantagens dos sistemas PLC é a sua utilização de codificação para correção de erros. Um código com uma relação de 1:2 é implementado, o que significa que todos os dados transmitidos são duplicados, ou seja, para cada bit de dados, o sistema PLC transmite 2 bits no canal correspondente.

Os dispositivos PLC monitoram automaticamente a qualidade do canal e contam com o auxílio do *Forward Error Correction* (FEC), um sistema de controle de erros na transmissão de dados. Dessa forma, quando a qualidade do canal atinge um nível satisfatório, o FEC é desativado, enquanto, se a qualidade do canal diminui, o FEC é ativado (MELO JUNIOR e MENDES, 2009).

2.1.3 Desafios para implementação da tecnologia PLC

Mesmo assim, a rede de energia elétrica não é um meio eficiente para a transmissão de dados, devido à presença de harmônicos e ruídos gerados pelos dispositivos conectados à rede. Esses dispositivos são amplamente utilizados tanto em residências como em ambientes empresariais, ou seja, coexistem no mesmo ambiente em que a rede PLC opera. Portanto, ao considerar a comunicação de dados por meio da rede elétrica, é necessário ter uma preocupação especial em relação ao desempenho do sistema diante de situações críticas de interferências e ruídos (MARQUES, 2009).

Um desafio fundamental para o uso da tecnologia PLC é que as redes elétricas foram projetadas para fornecer energia e não para transmitir dados. Para que essa tecnologia possa ser usada eficientemente, é necessário enfrentar alguns desafios, como manter taxas de transmissão adequadas e controlar a geração de interferência eletromagnética (EMI) em níveis aceitáveis. Como os sistemas PLC transmitem sinais de alta frequência pela rede de energia, existe uma maior possibilidade de interferência em outros sistemas, especialmente em radiocomunicação e radiodifusão (MOTA, 2009).

De acordo com Cardoso (*apud* COPEL 2017), as implicações mais relevantes em relação à usabilidade da tecnologia PLC estão relacionadas às interferências causadas por aparelhos eletrônicos. Essas interferências podem ocorrer em qualquer ponto de energia, ou seja, todos os dispositivos que utilizam radiofrequência são potenciais causadores dessas interferências. No entanto, é importante destacar que o uso de filtros instalados nos disjuntores

pode reduzir, parcialmente, esses impactos negativos, conforme afirmado pelo coordenador da COPEL, Orlando Cesar de Oliveira. Essa medida contribui para minimizar os prejuízos causados por interferências no sistema PLC.

É evidente que diversos dispositivos conectados à rede elétrica podem gerar uma variedade de ruídos sob a forma de impulsos no canal de transmissão. Esses ruídos podem ser classificados da seguinte maneira, conforme itens de a até d:

- d. Ruído síncrono: Geralmente, causado por dispositivos de controle de luminosidade, como *dimmers*. Por exemplo, quando uma lâmpada é ajustada para um brilho médio, diversos impulsos, com tensões da ordem de dezenas de *volts*, são inseridos no canal de transmissão.
- e. Ruído tonal: Pode ser subdividido em dois tipos. O primeiro é o ruído não intencional, gerado por fontes de alimentação chaveadas encontradas em computadores, carregadores e dispositivos de economia de energia. Esse ruído apresenta uma rica quantidade de harmônicos. O segundo tipo é o ruído intencional, causado por intercomunicadores, que utilizam a rede elétrica, como babás eletrônicas.
- f. Ruído de alta frequência: Gerado por aparelhos que possuem motores universais, frequentemente encontrados em barbeadores, aspiradores de pó e outros eletrodomésticos. Esses aparelhos injetam impulsos na rede elétrica, com uma taxa de vários milhares de pulsos por segundo.
- g. Ruído causado por capacitores: Esse tipo de ruído é gerado quando aparelhos eletrônicos são ligados ou desligados, devido à presença de capacitores projetados para corrigir o fator de potência. A magnitude do ruído gerado depende, diretamente, do tamanho do capacitor presente em cada equipamento (SANTOS, 2009).

No contexto da rede elétrica, a atenuação está, diretamente, relacionada às cargas e descontinuidades de impedância, as quais podem variar ao longo do tempo e em diferentes localizações. Devido ao desencontro de impedâncias entre os equipamentos, ocorre a reflexão do sinal transmitido, resultando em uma atenuação significativa do sinal, uma vez que parte dele será perdida. É importante ressaltar que o modem responsável pela conexão PLC não deve estar conectado a estabilizadores ou filtros de linha, pois esses dispositivos bloqueiam os sinais de alta frequência (MELO JUNIOR e MENDES, 2009).

Devido à presença de atenuação, é recomendável que o transmissor do modem insira na

rede elétrica o nível máximo de tensão permitido pelas normas aplicáveis. Isto ocorre porque a potência de transmissão opera de forma inversamente proporcional à impedância do canal, o que indica que a impedância exerce uma influência significativa na transmissão (MELO JUNIOR e MENDES, 2009). O descasamento de impedâncias resulta na reflexão do sinal transmitido, resultando na redução do sinal original (SANTOS, 2009).

Conforme G. Marques (2009), em residências maiores ou mais recentes, a alimentação elétrica é trifásica e a distribuição dos pontos de energia é planejada para equilibrar a carga em cada fase. Como resultado, em uma mesma casa, existem tomadas conectadas a redes elétricas diferentes, uma vez que apenas o neutro é compartilhado por todas as fases. Embora as três fases sejam provenientes do transformador da rua, esse transformador age como um grande indutor, bloqueando quase completamente as frequências mais altas de saltarem entre as fases.

Essa situação pode ser corrigida pela instalação de acopladores entre as fases, os quais atuam como condutores para o sinal, permitindo sua transmissão adequada entre as diferentes fases (G. MARQUES, 2009).

2.2 TOPOLOGIA E EQUIPAMENTOS

Inicialmente, a tecnologia PLC foi desenvolvida de forma independente em diferentes centros de pesquisa e desenvolvimento. Inicialmente, a comunicação era estabelecida mediante um sistema *Single-Input Single-Output* (SISO), utilizando poucas portadoras e apresentando uma taxa de transferência de dados relativamente baixa. No entanto, essa situação foi complementada pela introdução da tecnologia *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), que permite a criação de um sistema de comunicação com propriedades semelhantes às de redes de comunicação. A capacidade de múltiplos dispositivos utilizarem os recursos físicos de comunicação exigiu o desenvolvimento de um protocolo de comunicação que pudesse realizar o endereçamento dos componentes da rede (MULLER, 2016).

A estrutura da tecnologia PLC e seus componentes são divididos em três blocos distintos. O primeiro bloco é denominado *Indoor*, também conhecido como *Power Line Indoor Communications* (PLIC). O segundo bloco é o *Outdoor*, também referido como *Power Line Outdoor Communications* (PLOC). Por fim, temos o terceiro bloco, que consiste no *modem PLC* (PILARSKI *apud* CORRÊA, 2015).

A topologia *indoor* abrange o percurso que se estende desde o medidor de energia do usuário final até as tomadas localizadas dentro do imóvel em questão. Em determinados casos, pode ser necessário instalar um dispositivo repetidor de sinal na entrada do medidor de energia,

para garantir a qualidade da transmissão (COPEL, 2010).

A topologia *outdoor* é constituída por um dispositivo conhecido como MASTER ou *Head-End*, cuja função é converter os dados recebidos através de fibra óptica (ou outro meio de comunicação) em um sinal PLC, o qual é então inserido no barramento da rede de distribuição (COPEL, 2010).

A tecnologia PLC utiliza a infraestrutura da rede elétrica existente para a transmissão de dados, aproveitando sua estrutura pré-existente. Essa tecnologia opera na camada 2 do modelo ISO/OSI, ou seja, na camada de enlace, permitindo sua integração em uma rede TCP/IP já existente. A Figura 2.2 ilustra o adaptador utilizado para facilitar a conexão PLC, o qual é conectado a uma tomada disponível em determinado local por meio de um cabo, especificamente o cabo RJ45, para estabelecer a conexão com o computador desejado (MELO JUNIOR e MENDES, 2009):

Figura 2.1: *HomePlug* 1.0



Fonte: MELO JUNIOR e MENDES, 2009.

De acordo com Ferreira (2000), a *HomePlug Powerline Alliance* foi estabelecida em 2000. Essa aliança reúne diversas empresas, com o objetivo de padronizar o acesso às redes residenciais. Por meio dessa colaboração, foram especificados os padrões *HomePlug* 1.0 e *HomePlug* AV ou *HomePlug* 2.0, que está em fase finalização.

De acordo com Parra Encalada (2008), o modem PLC foi concebido para operar em baixa tensão, sendo capaz de interagir com frequências de corrente alternada e sinais de dados que excedem 1 MHz. Em relação ao ambiente doméstico, pode ser utilizado em conjunto com as tomadas elétricas residenciais, além de existirem adaptadores *Universal Serial Bus* (USB), chamados *Powerline Adapters*, que permitem a obtenção de acesso direto ao computador. Internamente, o modem PLC incorpora um acoplador elétrico, que possibilita a separação dos sinais de dados e da corrente elétrica.

O acoplador é responsável por inserir o sinal de alta frequência na rede elétrica. Trata-

se de um dispositivo passivo composto por dois filtros principais:

- a. Filtro passa-baixa: cuja função é separar a corrente elétrica.
- b. Filtro passa-alta: responsável por extrair o sinal de alta frequência relativo aos dados (PARRA ENCALADA, 2008).

É adotada uma caixa de distribuição, com o propósito de simplificar a disseminação do sinal PLC, nos painéis elétricos de edifícios. Normalmente, essa caixa está equipada com um filtro de surtos, o qual tem a função de filtrar os ruídos gerados pelos dispositivos conectados à rede elétrica (LIN *et al*, 2002).

O isolador de ruídos deve ser empregado para a conexão do modem PLC nos casos em que existam aparelhos eletrônicos presentes no circuito em que o modem será instalado. A utilização desse componente auxiliar resultará em um desempenho aprimorado da rede PLC, uma vez que reduzirá o nível de ruído na rede (FERREIRA, 2000).

A implementação dos dispositivos não apresenta uma complexidade significativa, embora a seleção dos dispositivos possa ser influenciada por características específicas da infraestrutura, tais como o tipo de conexão utilizada nas subestações de baixa ou média tensão, dentro da rede de distribuição. O progresso dessa tecnologia também envolve a incorporação de novas funcionalidades nos dispositivos, incluindo recursos de autoconfiguração, que simplificam o processo de instalação da rede PLC (FERREIRA, 2000).

2.2.1 Técnicas de Modulação para Tecnologia PLC

De acordo com André *apud* Haykin (2008), existem dois tipos de modulação: modulação de onda contínua e modulação por pulso. Na modulação de onda contínua, uma onda senoidal é utilizada como portadora e sua amplitude é alterada de acordo com a mensagem, resultando em uma modulação de amplitude (AM – *Amplitude Modulation*). Quando o ângulo da onda portadora é modificado, temos uma modulação angular. Podemos classificar a modulação de onda contínua em modulação de frequência (FM – *Frequency Modulation*) e modulação de fase (PM – *Phase Modulation*), em que tanto a frequência quanto a fase instantânea da portadora são variadas, com base no sinal da mensagem.

Inicialmente, a modulação utilizada na tecnologia PLC era a *Frequency Shift Keying* (FSK), que permitia apenas a transferência de taxas de dados baixas. Isto ocorre devido à quantidade limitada de símbolos diferentes, que podem ser produzidos nos sistemas de modulação FSK, onde a transição de um estado 'zero' para 'um' ou vice-versa resulta em uma

mudança de fase de 180° do sinal da portadora (MULLER *apud* YOUNG, 2016).

No interior da NB PLC existem duas soluções públicas chamadas *Power Line Intelligent Meter Evolution* (PRIME) e PLC-G3, que posteriormente foram incluídas e suportadas nos padrões ITU G.Hnem e IEEE P1901.2. Os sistemas BB PLC utilizam técnicas de modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) ou *wavelet* e, semelhante à PLC de faixa estreita, aplicam os protocolos de acesso ao meio *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) e TDMA na camada *Medium Access Control* (MAC). A maioria dos sistemas de PLC de banda estreita mencionados utiliza a técnica de modulação OFDM, na camada física. No entanto, alguns dos sistemas mais antigos empregam a técnica de espectro de propagação (MUDRIIEVSYI, 2014).

2.3 TECNOLOGIA PLC NO BRASIL

Segundo Cardoso *et al* (2017), existem diversos estudos de caso, implementações e iniciativas comerciais em todo o mundo relacionados à tecnologia PLC. No contexto brasileiro, essa tecnologia tem sido objeto de estudo e testes desde o ano 2000. É possível observar um crescente interesse e investimento no desenvolvimento e aplicação do PLC no país, com o objetivo de explorar suas potencialidades e viabilizar sua adoção em diferentes setores e aplicações.

2.3.1 Regulamentação e Normas

Os dispositivos que fazem parte do sistema PLC devem possuir certificação emitida ou reconhecida pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), de acordo com a regulamentação atual, e estar em conformidade com as normas relevantes do sistema elétrico estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Além disso, é necessário que os equipamentos atendam às normas estabelecidas pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE). (TELECO, 2010)

De acordo com Teleco inteligência em telecomunicações (2010), a Resolução 527/2009, publicada no Diário Oficial da União, em 13 de abril de 2009, tem como objetivo definir os parâmetros para a instalação, comercialização e utilização dos serviços PLC ou Sistemas de Banda Larga, por meio de redes de energia elétrica.

De acordo com essa resolução, a comunicação realizada pelo sistema PLC, restrita às redes elétricas, está limitada à faixa de radiofrequência de 1,705 MHz a 50 MHz. Além disso,

os equipamentos utilizados no sistema PLC são considerados equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita e operam em caráter secundário. Essas determinações visam garantir o uso adequado e seguro da tecnologia PLC, conforme estabelecido pelas normas e regulamentos estabelecidos pela ANATEL (TELECO, 2010).

De acordo com a ANATEL (2009), no artigo 5, é necessário que as radiações não desejadas geradas pelos sistemas de BPL, que operam na rede de distribuição de baixa tensão, estejam restritas aos valores estabelecidos na tabela 2.1 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de Redes de Baixa Tensão (RBT).

Tabela 2.1 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RBT

Faixas de Frequências (MHz)	Intensidade do campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1.705-30	30	30
30-50	100	3

Fonte: Adaptado pelo autor, (ANATEL, 2009).

Artigo 6 diz que é imprescindível que as emissões indesejadas provenientes dos sistemas BPL, quando em operação na rede de distribuição de Média Tensão, estejam devidamente controladas e dentro dos limites estabelecidos na Tabela 2.2 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de Redes de Média Tensão (RMT) (ANATEL, 2009).

Tabela 2.2 - Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RMT.

Faixas de Frequências (MHz)	Intensidade do campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1.705-30	30	30
30-50	90	10

Fonte: Adaptado pelo autor, (ANATEL, 2009).

De acordo com o descrito pela ANATEL, no artigo 7, é necessário que os sistemas de PLC apresentem as seguintes características técnicas:

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 (ANATEL, 2009, P. 50).

Ainda conforme requisitos específicos, descritos no art. 8º da legislação, a utilização do sistema de BPL em RMT deve ser executada de forma a não causar emissões indesejadas nas faixas de frequências restritas, que incluem as faixas de radiofrequências designadas para o Serviço Móvel Aeronáutico (R) e radioamador. As faixas de frequências que venham a ser designadas e destinadas, posteriormente, ao Serviço Móvel Aeronáutico (R), no segmento de espectro entre 1,705 MHz e 50 MHz, também serão consideradas como faixas restritas (ANATEL, 2009).

2.3.2 Estudo de Caso da COPEL

A empresa Paranaense de Energia, também conhecida como COPEL, dedicou-se a seus projetos de 2001 a 2009. Já em 2001, a COPEL conduziu testes pilotos na cidade de Curitiba, mais especificamente no bairro Água Verde, com a participação de 50 usuários. Posteriormente, em 2008, foram realizados testes adicionais em um laboratório especialmente desenvolvido no polo KM3 da empresa. Após essa fase de testes, um relatório técnico foi elaborado para avaliar a tecnologia PLC, revelando que ela apresentou várias limitações decorrentes de restrições tecnológicas (Cardoso *apud* COPEL, 2017).

De acordo com Faria *et al* (2010), em 2001, a Copel conduziu um teste pioneiro da

tecnologia PLC na cidade de Curitiba, especificamente no bairro Água Verde, envolvendo 50 usuários. No entanto, durante essa fase inicial, a tecnologia enfrentou diversos desafios em relação a sua aplicabilidade devido a restrições tecnológicas significativas.

O sistema PLC testado pela Copel emprega processadores digitais de sinais e utiliza a técnica de *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) para distribuir os *bits* de comunicação, em 1536 portadoras digitais. Automaticamente, são selecionadas as portadoras de melhor qualidade para transmitir um maior número de bits, enquanto as portadoras com níveis insuficientes são rejeitadas para transmissão (FARIA *et al*, 2010).

A cidade de Santo Antônio da Platina foi selecionada devido ao seu perfil como um centro urbano de porte médio que atende a requisitos específicos. Além disso, a localização da cidade ao longo do principal anel de *backbone* óptico, que abrange a rede de transporte e a rede Ethernet, contribui para sua escolha. Vale ressaltar que a presença de equipes tanto da subsidiária de distribuição de energia quanto de telecomunicações também foi um fator determinante nessa decisão (MODRO, 2010).

O modelo de aplicação escolhido para a tecnologia PLC é conhecido como modelo de acesso, que tem como objetivo fornecer comunicação na última milha. Nesse modelo, um modem mestre (*head-end*) é utilizado em conjunto com uma conexão de fibra óptica. O equipamento mestre desempenha a função de receber os dados através da fibra óptica e os converter em sinal PLC, que é, então, injetado no barramento secundário da rede de distribuição de energia de 110/220 V (FARIA *et al*, 2010).

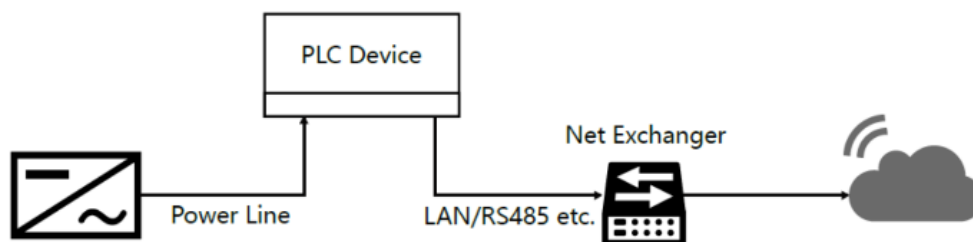
2.3.3 Caixas de Comunicação em sistemas fotovoltaicos

Conforme GoodWe© (2023), em sistemas fotovoltaicos onde a infraestrutura de cabeamento estruturado pode ser complexa de ser feita, o sistema PLC pode tornar-se uma tecnologia interessante de se aplicar para a transmissão de dados de inversores.

A empresa GoodWe© oferece como solução vários modelos de caixas de comunicação PLC para aquisição de dados de monitoramento e manutenção em sistemas fotovoltaicos. Conforme dados sobre os equipamentos, eles suportam comunicação em rede de anel de fibra óptica para ampliar e garantir a precisão da transmissão de dados entre submatrizes fotovoltaicas. Além disso, o Comunicador PLC para Fibra Ótica suporta transformadores de enrolamento duplo, com alta relação custo-benefício, em termos de aplicação de comunicação.

Conforme figura 3.2, pode se observar a topologia de instalação do equipamento.

Figura 2.2: Caixa de Comunicação PLC



Fonte: GoodWe© (2023).

Os modelos das caixas de comunicação variam conforme a potência dos inversores, além de cada modelo suportar uma certa quantidade de inversores conectados. Por exemplo, para inversores entre 50 kW e 80 kW, há o equipamento dos SCB2000 e SCB3000 (GOODWE©, 2023).

Segundo GoodWe© (2023), alguns dos modelos disponíveis pela marca GoodWe© são os equipamentos SCB2000 e SCB3000 *Communication Box*, para comunicação PLC de inversores de 50 kW até 80 kW. Ambos os equipamentos detêm placa de comunicação PLC, placa *Datalogger* e placa de comunicação de fibra óptica juntas dentro. Trata-se de uma solução específica para exigência de comunicação PLC. No SCB2000, podem ser conectados até 30 inversores e, no SCB3000, podem ser conectados até 60 inversores. Ambos têm uma distância máxima de 1000 metros.

2.4 COMPARATIVO ENTRE PLC E OUTRAS TECNOLOGIAS

A tecnologia PLC demonstrou viabilidade para uso em cenários internos, em redes LAN, quando comparada ao cabo metálico de par trançado. Essa tecnologia pode ser aplicada na conexão entre dois pontos em que a passagem de cabos metálicos de par trançado não é viável, conforme proposto no estudo realizado. Durante a avaliação, a tecnologia PLC apresentou um desempenho muito satisfatório, mantendo-se estável e sem evidenciar perdas significativas. Em alguns momentos, inclusive, demonstrou ser superior ao cabo metálico de par trançado (BELETTINI, 2015).

Conforme disposto na Tabela 2.3, são apresentados os principais meios disponíveis no Brasil para a transmissão de dados categorizados como cabeados (cabos de par trançado, coaxial e fibra ótica), sem fio (Wi-Fi e WiMax) e a tecnologia mais recente, a PLC, que utiliza a rede elétrica para a transmissão de dados (MELO JUNIOR e MENDES, 2009).

Tabela 2.3: Comparativo entre os principais meios de transmissão de dados e suas características.

Meios de Transmissão Características	Cabeadas			Sem Fio		PLC
	Par Trançado	Coaxial	Fibra Ótica	Wi-Fi	WiMax	
Distância (m)	100	500	100.00	300	20.000	300
Interferência (nível)	Médio	Médio	Baixo	Alto	Alto	Alto
Largura de Banda Máxima (Mbps)	1.000	10	10.000	48	75	30
Custo (Nível)	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
Instalação (Nível)	Fácil	Fácil	Alto	Fácil	Fácil	Fácil
Infraestrutura (Nível)	Alto	Alto	Alto	Médio	Médio	Zero
Mobilidade (Nível)	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Alto	Médio
Segurança (Nível)	Médio	Médio	Médio	Fraco	Fraco	Alto

Fonte: Adaptado pelo autor, (MELO JUNIOR e Mendes, 2009).

Embora a tecnologia PLC apresente desvantagens em termos de velocidade e mobilidade em comparação a outras alternativas, é importante ressaltar que ela aproveita uma infraestrutura já existente. Dessa forma, contribui para a inclusão digital da população e possibilita o crescimento social, cultural e econômico do país (MELO JUNIOR e MENDES, 2009).

De acordo com Neto *et al* (2017), que realizou testes comparativos entre *Wi-Fi* e um sistema PLC, com base nos resultados obtidos, é possível inferir que a tecnologia PLC apresenta uma maior amplitude de sinal em comparação com a rede local *Wi-Fi* convencional, além de proporcionar maior mobilidade. Vale ressaltar que os testes foram conduzidos utilizando apenas um repetidor PLC, mas, caso o usuário opte por adquirir mais dispositivos PLC e os distribuir pelo ambiente, a intensidade e o alcance do sinal serão ampliados.

Observou-se que a rede local *Wi-Fi* supera o PLC, em termos de velocidade de download, conforme indicado pelos testes realizados pelo SIMET. No entanto, em relação à transferência de dados dentro da rede, o PLC apresenta vantagens, sendo inferior apenas em

alguns aspectos quando se trata de um *Desktop* localizado distante do PLC (NETO *et al*, 2017).

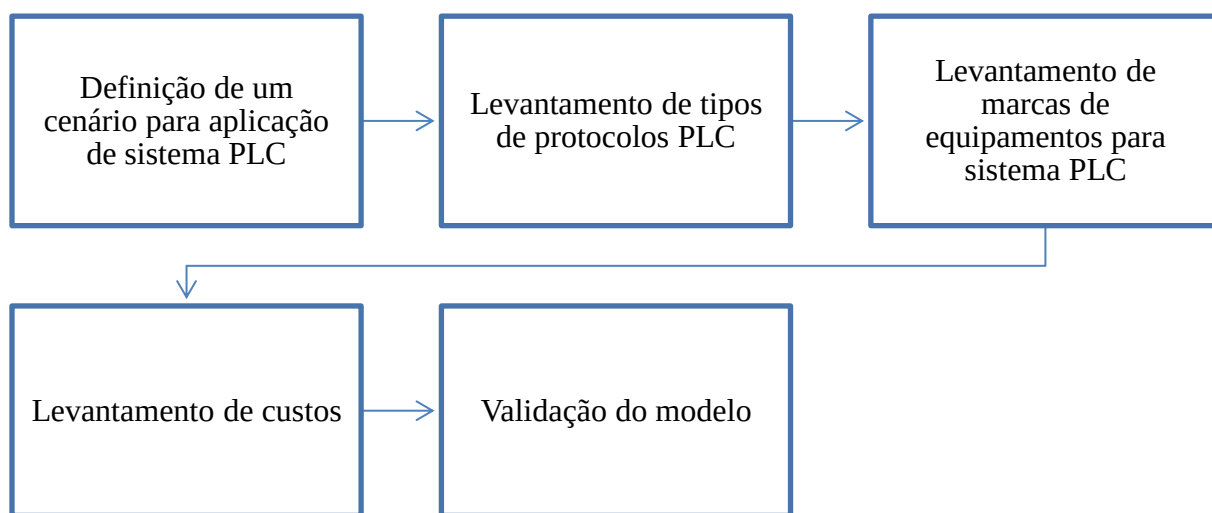
3 METODOLOGIA

Para início, estabeleceram-se os procedimentos, métodos e materiais para realização do estudo proposto para análise de viabilidade. Para realização do estudo, teve-se orientação do fluxograma representado na figura 3.1. Com base nesse fluxograma, tratou-se de responder se é viável a implantação de um sistema PLC de topologia *indoor* como alternativa para transmissão de dados.

Primeiramente, realizou-se a especificação de um cenário para aplicação do sistema PLC e o levantamento dos equipamentos mais viáveis do ponto de vista tecnológico. Analisaram-se os desafios para mudar a estrutura utilizando redes invasivas, ou seja, com novos fios. Em seguida, foi definido qual o protocolo PLC mais viável, pois, assim, verificaram-se as reais necessidades das estações de trabalho. Desse modo, o sistema PLC poderá ser adaptado aos requisitos locais.

Em seguida, buscou-se fazer o projeto de instalação, conforme requerimento daquela marca de produto escolhida. O funcionamento do sistema foi adequado às dificuldades encontradas em um escritório de pequeno porte e às exigências dos dispositivos escolhidos.

Figura 3.1 Fluxograma para desenvolvimento do projeto



Fonte: Autor (2023).

De forma sequencial, pode-se, então, ser realizada uma estimativa de gastos com a implantação do sistema PLC ao escritório. Há de se levar em conta, para isso, dificuldades e melhorias encontradas, em concordância com os objetivos traçados sempre priorizando analisar a viabilidade de implantação do sistema.

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO CENÁRIO

Analizado os possíveis cenários para implantação do sistema PLC, levando em consideração para definição o tamanho do ambiente, podendo ser de grande ou pequeno porte, as quantidades de salas, para transmissão foram analisadas as necessidades, com vistas a definir largura de banda para transmissão de dados e transientes, que podem vir a dificultar o funcionamento do sistema, entre outros detalhes.

Definido um escritório de pequeno porte, contendo 12 estações de trabalho, cada uma contendo 1 computador, uma impressora para cada 3 estações de trabalho e uma copa, com uma geladeira e micro-ondas. Além disso, contém uma sala onde estão localizados os servidores de rede e os equipamentos de telecomunicações. Optou-se por esse cenário, com um escritório de pequeno porte, em razão de o sistema PLC tornar-se viável e tender a ter problemas menos significativos em comparação a ambientes maiores. Assoma-se, igualmente, a infraestrutura compartilhada, utilizando poucos circuitos, que pode ser implementada de maneira mais eficiente, fornecendo conectividade confiável e estável em todas as áreas do escritório, sem a necessidade de puxar cabos *Ethernet* longos.

A largura de banda necessária pode variar dependendo de vários fatores, incluindo o número de dispositivos conectados, a intensidade do tráfego de dados e as necessidades específicas da rede. No entanto, posso fornecer uma estimativa geral das exigências de largura de banda para o cenário descrito.

Por se tratar de um escritório de pequeno porte, foram considerados 400 Mbps para largura de banda para atender às necessidades básicas e suprir demandas superiores, se em algum momento houver algum requisito específico ou o tráfego for maior que o estimado inicialmente.

Pela tecnologia PLC utilizar a fiação elétrica para transmissão de dados, deve-se tomar cuidado com os transientes, que podem dificultar a transmissão de dados. Serão analisadas possíveis causas de interferências, equipamentos e formas de funcionamento do escritório, para mitigar os transientes, tendo, assim, um funcionamento mais eficiente.

3.2 DEFINIÇÃO DE PROTOCOLO E MARCAS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLC

Conforme pesquisas em estudos e no mercado, observou-se que os protocolos *HomePlug* e *Gigabit Home Networking* (G.hn) adequam-se ao cenário definido, tendo cada um

deles suas particularidades.

Para a definição do protocolo mais adequado, devem ser levados em conta alguns fatores, como distância, largura de banda, desempenho, custo, ambiente elétrico e flexibilidade.

Em relação à flexibilidade e interoperabilidade, o padrão G.hn é mais recente e pode oferecer maior flexibilidade e recursos avançados, como melhor gerenciamento de *Quality of Service* (QoS). O padrão *HomePlug* é mais estabelecido e pode ter uma base de dispositivos mais ampla, facilitando a escolha de produtos compatíveis.

Contudo, considerando as diversas situações possíveis, se o desempenho de alta velocidade é fundamental e o orçamento permite, o G.hn pode ser uma opção sólida. Por outro lado, se alguém estiver buscando uma solução mais acessível, o *HomePlug* AV pode atender às necessidades.

Para o cenário especificado, foram definidos equipamentos que utilizam do protocolo *HomePlug* AV, analisando que é um protocolo amplamente adotado e disponível no mercado, com facilidade na instalação, boa compatibilidade entre as várias marcas de fabricantes e oferecimento de um desempenho de banda larga adequado.

3.2.1 Levantamento de marcas para implantação do sistema PLC

Analisaram-se as marcas disponíveis no mercado que fossem compatíveis com o protocolo *HomePlug* AV. Observaram-se questões técnicas dos dispositivos das marcas disponíveis, de acordo com o cenário planejado para estudo.

Marcas como TP-Link®, Devolo®, Netgear® e Zyxel® têm uma ampla opção de equipamentos PLC e possuem algumas vantagens que as tornaram melhores opções.

Foram analisados alguns modelos de adaptadores das marcas citadas. Para estudo, foi escolhido um adaptador da marca TP-Link® e outro da marca Devolo®. Na tabela 3.1, pode-se observar características do dispositivo da marca Devolo®.

A TP-Link® é uma marca consolidada no mercado e a Devolo® uma marca alemã, especializada em dispositivos de comunicação, sempre citada ou utilizada em estudos sobre a tecnologia PLC. A tabela 3.1 contém os dados do adaptador 1200+ da marca Devolo®.

Tabela 3.1: Dados técnicos do dispositivo 1200+.

Normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3x, IEEE 802.3az, IEEE 802.1p
--------	---

	Auto MDI/X
Protocolos	CSMA/CA (<i>Powerline</i>)
Velocidade de Transmissão	<i>Ethernet</i> 10/100/1000 (mbps) <i>Powerline</i> 200/500/600/1200 (mbps)
Modulação – Portador	<i>Powerline</i> OFDM – 4096/1024/256/64-QAM, QPSK, BPSK • <i>Powerline</i> 2880
Alcance (m)	400
Segurança	128 <i>Bit</i> AES
Ligação dos dispositivos	1 x <i>Ethernet</i> RJ45
Consumo de Energia	Máximo W/A: 5.3 Típico W/A: 4.1 <i>Stand-By</i> W/A: 0.7
Filtro de Atenuação	2 – 68 MHz
Características dos Filtros	-22 db a -45 db
Garantia (anos)	3

Fonte: Autor (2023).

O modelo do adaptador para o caso de estudo é o Kit Extensor de Alcance WiFi *Powerline*, Edição 300 Mbps *Wi-Fi* e AV 600 Mbps da marca TP-Link©. Na tabela 3.2, podem-se observar as características de *hardware* do kit:

Tabela 3.2: Dados técnicos do hardware do adaptador TL-WPA4220.

Padrões e Protocolos	<i>HomePlug</i> AV, IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11b/g/n
Interface	2 portas <i>Ethernet</i> 10/100Mbps
Consumo de Energia	Máximo: 7.608W (220V) Típico: 7.216W (220V) <i>Standby</i> : 4.610W (220V)
Alcance	Alcance 300 metros através da rede elétrica
Compatibilidade	Compatível com <i>HomePlug</i> AV e AV2
Velocidade de Transmissão	<i>Powerline</i> : 600 Mbps <i>Ethernet</i> : 10/100 Mbps

Fonte: Autor (2023).

Características de *software* do dispositivo escolhido:

Tabela 3.3: Características de software do dispositivo da marca TP-Link©.

Gerenciamento	TP-Link tp PLC App
Tecnologia de Modulação	OFDM (PLC)
Criptografia	Segurança do <i>Powerline</i> : AES de 128-bits Segurança do <i>wireless</i> : Criptografia WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK

Fonte: Autor (2023).

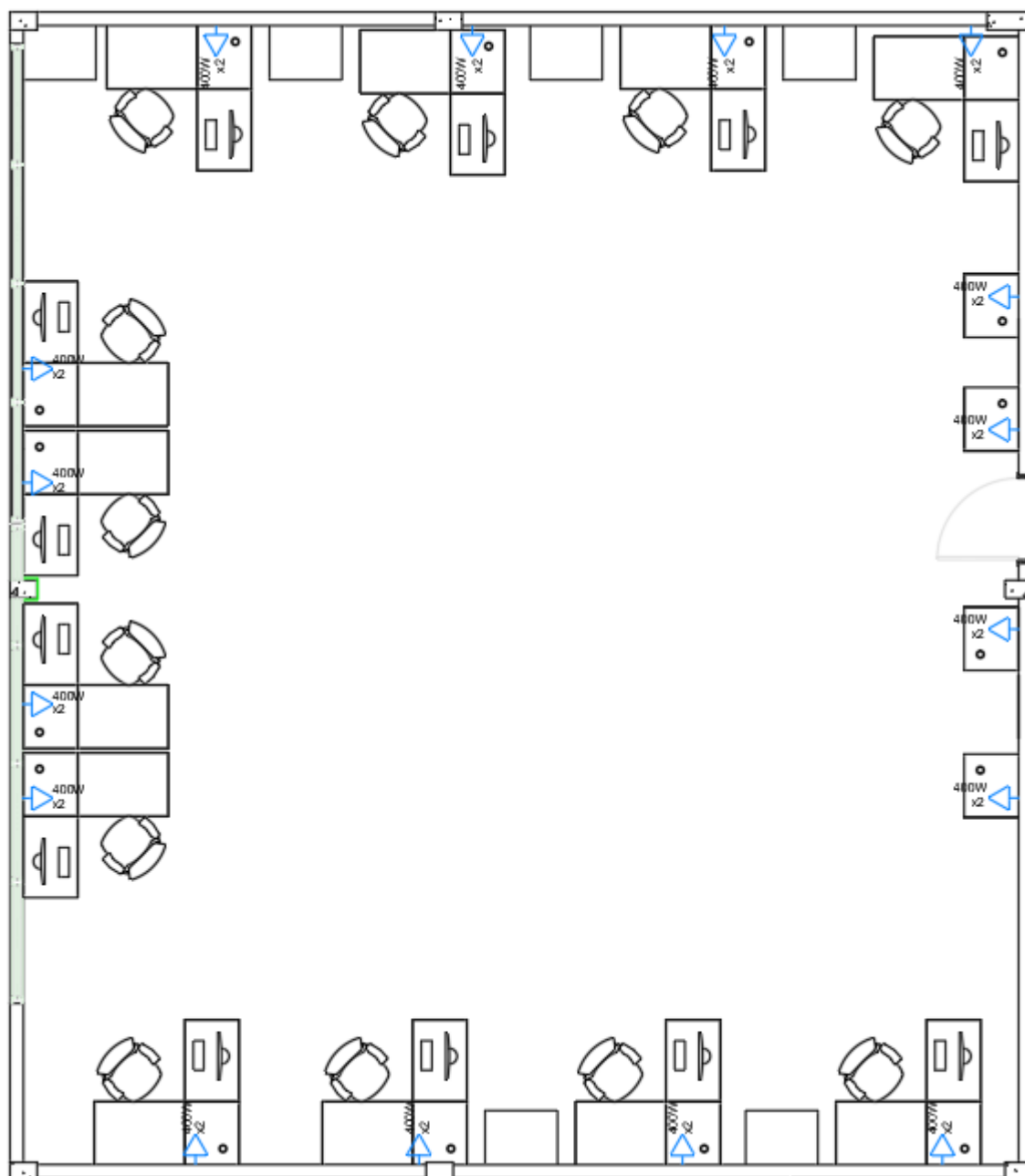
Ambos os equipamentos escolhidos atendem as necessidades do cenário definido. Com base em pesquisa de campo e estudos sobre a tecnologia PLC, demonstram ser dispositivos mais robustos, de fácil instalação e conexão. Ambos os dispositivos possuem *software* para monitoramento e atualização do sistema.

3.2.2 Projeto do escritório

Para fazer o levantamento de custo, foi realizado o projeto de cabeamento estruturado e analisados os pontos elétricos disponíveis no *layout* da instalação. O projeto foi feito utilizando o software Autocad©.

Conforme figura 3.2, pode-se observar o *layout* do escritório e os pontos elétricos em cada mesa e nas impressoras.

Figura 3.2: Layout do escritório.

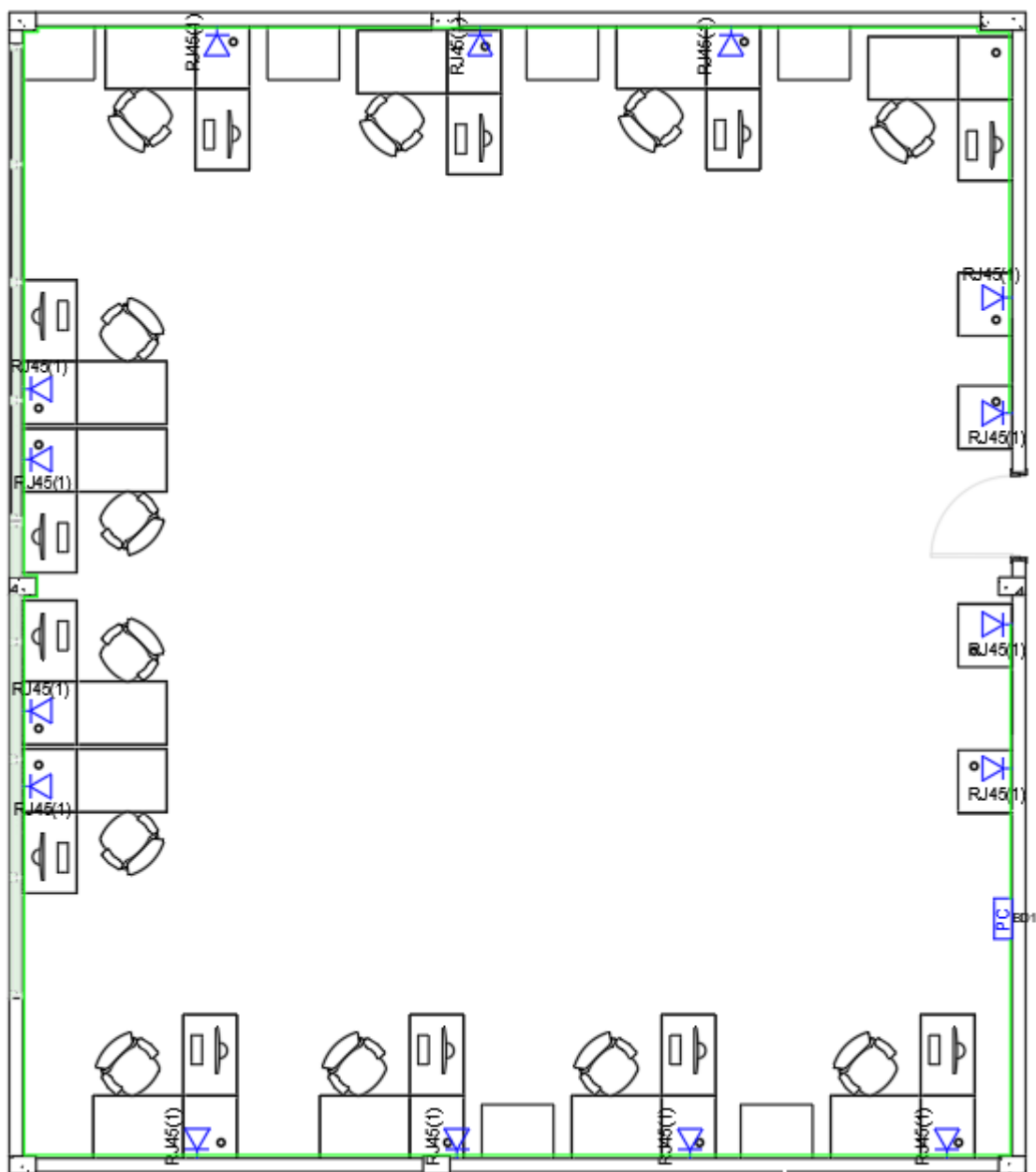


Fonte: Autor (2023).

Em cada ponto de tomada, foi instalado um dispositivo PLC. Para cada dispositivo do modelo WPA-4220, foram conectados dois equipamentos e, no modelo dLan 1200+, foi conectado um equipamento em cada dispositivo.

Foi realizado o projeto de cabeamento estruturado para estimativa de custos, conforme figura 3.3.

Figura 3.3: Projeto de cabeamento estruturado.



Fonte: Autor (2023).

Considerado a instalação aparente, rack instalado no escritório, para distribuição da fiação, foi utilizado eletroduto e um ponto RJ45 para cada equipamento, lembrando que para cada ponto há um cabo em específico.

3.2.3 Materiais e custos para instalação

Para comparação de custos, foi realizado orçamento dos dispositivos separados pelas marcas. Os orçamentos foram feitos com base no site dos fabricantes e utilizando o Orçamento

de Obras de Sergipe (ORSE) e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Os materiais e quantitativos necessários para implantação do dispositivo adaptador 1200+ da marca Devolo© estão relacionados na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Custos dos dispositivos da marca Devolo©.

Dispositivo	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
<i>Starter</i> Kit Devolo dLan 1200+	472,03	4	1888,12
Adaptador <i>PowerLine</i> dLan Devolo 1200+	225,79	12	2709,48
Roteador	269,98	2	539,96
TOTAL DE CUSTOS			5.137,56

Fonte: Autor (2023).

Os materiais e quantitativos necessários para implantação da marca TP-Link© estão relacionados na tabela 3.5.

Tabela 3.5: Custos dos dispositivos da marca TP-Link©.

Dispositivo	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Valor Total (R\$)
Kit <i>PowerLine</i> TP- LINK© TL- WPA4220 AV600	299,90	4	1196,60
Adaptador <i>PowerLine</i> TL- WPA4220 AV600	182,00	4	728,00
Roteador	269,98	2	539,96
TOTAL DE CUSTOS			2.464,56

Fonte: Autor (2023).

Para levantamento de custo de um sistema de cabeamento estruturado, levou-se em consideração equipamentos que venham a afetar mais o valor do orçamento. Na tabela 3.6, está o valor estimado de custo do sistema:

Tabela 3.6: Custos do sistema de cabeamento estruturado.

Equipamento	Valor (R\$)	Quantidade	Valor Total R(R\$)
Cabo de rede Cat5 (m)	4,05	356,17	1.442,48
Eletroduto de aço galvanizado 3/4" (m)	24,09	46,09	1.110,30
Switch de Rede 16 Portas (un)	230,00	1	230
Roteador (un)	269,98	2	539,96
Patch Panel (un)	390,38	1	390,38
Racks (un)	742,48	1	742,48
Patch Cord 1,5m (m)	27,71	16	443,36
Tomada RJ45 (un)	34,45	18	619,74
TOTAL DE CUSTOS			5.519,30

Fonte: Autor (2023).

Além dos custos estimados para implantação dos sistemas, pode haver custos com manutenção, que pode variar de acordo com o sistema instalado. O custo total do sistema PLC com a marca TP-Link© ficou estimado em R\$ 2.464,56 e com a marca Devolo© ficou estimado em R\$ 5.137,56. O sistema de cabeamento estruturado ficou estimado em R\$ 5.519,30.

3.3 TRANSIENTES DA REDE ELÉTRICA

Devido ao PLC ser uma tecnologia que é interferente em relação a outros serviços, deve-se atentar para alguns cuidados ao utilizar o sistema. Situações como uma má qualidade da fiação elétrica, transientes causados por equipamentos com motores, como liquidificador e aspirador de pó, e surtos de tensão podem causar interferência no funcionamento, assim decaindo a qualidade da conexão.

Com isso, busca-se definir alguns cuidados em relação à estrutura e ao funcionamento do escritório, a fim de obter o melhor funcionamento do sistema PLC. Uma rede elétrica mais degradada irá interferir mais na largura de banda do enlace. Logo, uma manutenção adequada da rede elétrica deve ser feita periodicamente. Também é importante se atentar para a qualidade dos equipamentos, pois é fundamental utilizar equipamentos que atendam aos padrões de qualidade elétrica. Caso tenha a possibilidade, separar os circuitos dos equipamentos PLC dos

demais também é relevante.

Interferências devido a surtos de tensão e certos casos de transientes podem ser solucionados ou amenizados ao utilizar dispositivos de proteção contra surtos e filtros de linhas.

Uma opção para amenizar os transientes é definir uma sequência para utilizar os equipamentos do escritório. Sendo assim, ter uma política de ligar e desligar de forma gradual os equipamentos seria útil, evitando ligar ou desligar vários dispositivos, simultaneamente, para minimizar picos de corrente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar de cada sistema ter suas próprias características, vantagens e desvantagens, pode-se analisar algumas semelhanças e diferenças para a viabilidade de implementação, dependendo da necessidade da instalação e do cenário a ser aplicado.

4.1 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Para uma análise detalhada dos sistemas, há a Tabela 4.1, que auxilia na realização do comparativo entre os dois sistemas de transmissão de dados.

Tabela 4.1: Características de sistema de cabeamento estruturado e PLC.

Características	Cabeamento Estruturado	Sistema PLC
Custo com Infraestrutura	Alto	Baixo
Meio de Transmissão	Cabos dedicados, Rede própria	Infraestrutura da rede elétrica existente
Desempenho e Qualidade do sinal	Maior desempenho e consistência	Devido ao uso compartilhado com dispositivos elétricos, está mais susceptível a variações
Interferências	Dependendo do tipo de cabo utilizado, pode ser susceptível a interferências eletromagnéticas	Suscetível a interferências de aparelhos elétricos e eletrônicos
Distância e Atenuação	Dependendo do tipo de cabo utilizado, pode oferecer longas distâncias de transmissão	Tem limitações de distância, havendo influência se a rede elétrica for extensa ou antiga.

Fonte: Autor (2023).

Apesar da limitação do sistema PLC, devido a interferências e longas distâncias, ele vem a se tornar viável em algumas situações, conforme os itens a até d:

h. Infraestrutura Existente: Em locais onde não é possível instalar novos cabos

(como Ethernet ou fibra óptica), devido ser caro ou intrusivo.

- i. Ambientes Históricos: Há muitas edificações históricas em que não se pode alterar a infraestrutura. Com isso, o sistema PLC torna-se uma boa opção para fornecer acesso à internet ou conectividade com a rede
- j. Locais Remotos: Em locais remotos, como áreas rurais, onde a infraestrutura de telecomunicação pode ser limitada, a aplicação de PLC pode ser uma solução.
- k. Redução de custos: Nas situações em que o orçamento é uma preocupação, o PLC pode ser uma solução mais econômica do que instalar toda uma infraestrutura dedicada.

No caso do cenário definido, o sistema PLC pode vir a ser viável, em razão de escritórios terem uma rotina de funcionamento dos equipamentos, podendo, assim, amenizar os transientes, além da questão do custo dos equipamentos e por não necessitar de uma alta velocidade de transmissão de dados.

No cenário de transmissão de dados de inversores de usinas solares – onde a instalação de cabeamento estruturado fica inviável devido ao custo de cabo de comunicação, custo de operação e manutenção ou infraestrutura da instalação – torna-se conveniente a análise para aderir a um sistema PLC para transmissão de dados e monitorar a instalação.

Sistemas PLC também podem ser integrados com outras tecnologias para ter um melhor aproveitamento e otimizar custos de implantação. Tecnologia como Rádio Frequência (RF) vem sendo bastante estudada para combinação com PLC.

4.1.1 Largura de Banda

A largura de banda pode ser influenciada pela qualidade dos cabos, conexões, interferências e pelo equipamento utilizado.

A largura de banda varia conforme o protocolo utilizado. O protocolo *HomePlug AV*, definido para o cenário específico, pode alcançar até 500 Mbps e um padrão mais avançado, como *HomePlug AV2*, pode alcançar até 2 Gbps, em condições adequadas.

Embora versões mais recentes de PLC ofereçam larguras de banda comparáveis a alguns padrões *Ethernet*, muitos fatores ambientais e de infraestrutura podem afetar o desempenho. A qualidade da instalação elétrica, a distância dos dispositivos e a presença de transientes podem reduzir, significativamente, a largura de banda em um sistema PLC.

Um sistema de cabeamento estruturado pode oferecer uma maior largura de banda, onde

até mesmo cabos de par trançado, sob condições adequadas, geralmente superam o PLC em termos de desempenho. O PLC pode ser adequado para aplicações que não exigem as maiores velocidades de transmissão de dados.

4.1.2 Desempenho e Interferências

A qualidade do sistema PLC pode variar conforme a qualidade da rede elétrica, distância e tipos de dispositivos conectados à rede elétrica. A rede elétrica é um ambiente que contém transientes que podem afetar o desempenho do sistema PLC, como surtos ou quedas de tensão.

Estudos demonstram que interferências afetam a qualidade de transmissão, porém não chegam a causar grandes perdas de pacotes de transmissão, assim mantendo a confiabilidade dos dados transmitidos.

Há algumas estratégias para amenizar os transientes e, assim, obter-se um melhor desempenho. As possibilidades podem ser: utilização de filtros específicos na entradas dos adaptadores; Protetores de surto na rede elétrica podem prevenir danos aos adaptadores; isolamento de cargas problemáticas, como motores, compressores e determinados tipos de eletrônicos, que podem introduzir transientes na rede elétrica; utilização de repetidores para amplificar e regenerar o sinal, ajudando a superar a atenuação; alguns adaptadores possuem ferramentas de monitoramento, assim facilitando a identificação e intervenção para resolver o problema; manter atualizado o *software* e *firmware* do dispositivo.

Para o cenário de um escritório de pequeno porte, como definido anteriormente, além dos cuidados citados, pode-se ter uma rotina de trabalho para utilizar os equipamentos, assim diminuindo a interferência. Ligar e desligar gradualmente os equipamentos em um escritório de pequeno porte envolve uma sequência controlada de operações para minimizar picos de corrente elétrica e transientes na rede elétrica. Nos itens de a até e, respectivamente, um exemplo de como essa prática pode ser implementada, com uma sequência, ao iniciar os trabalhos no escritório de pequeno porte:

- a. Adaptadores PLC
- b. Equipamentos de Rede
- c. Computadores de Mesa
- d. Impressoras e Equipamentos de Escritório
- e. Lâmpadas LED e Outros Eletrônicos: Por último, ligue as lâmpadas LED e outros dispositivos eletrônicos de baixo consumo de energia.

Com isso, tem-se o objetivo de distribuir a carga de corrente de forma controlada e permitir que dispositivos mais sensíveis, como os adaptadores PLC, estabeleçam uma conexão estável antes que os demais dispositivos estejam conectados

Outro ponto que se deve atentar é o seguinte: a rede PLC é afetada em redes que contenham algum elemento bloqueador de frequência, como equipamentos isoladores, estabilizadores ou alimentados por fontes chaveadas ou qualquer outro equipamento que contenha transformador.

Adaptadores PLC com tecnologia mais recente tendem a ser mais robustos, assim tratando melhor quando houver alguma variação na rede elétrica. Por essa razão, é importante a boa escolha do adaptador.

4.1.3 Manutenção dos Sistemas

No caso de um padrão PLC mais recente for lançado, a atualização pode requerer a substituição de todos os adaptadores.

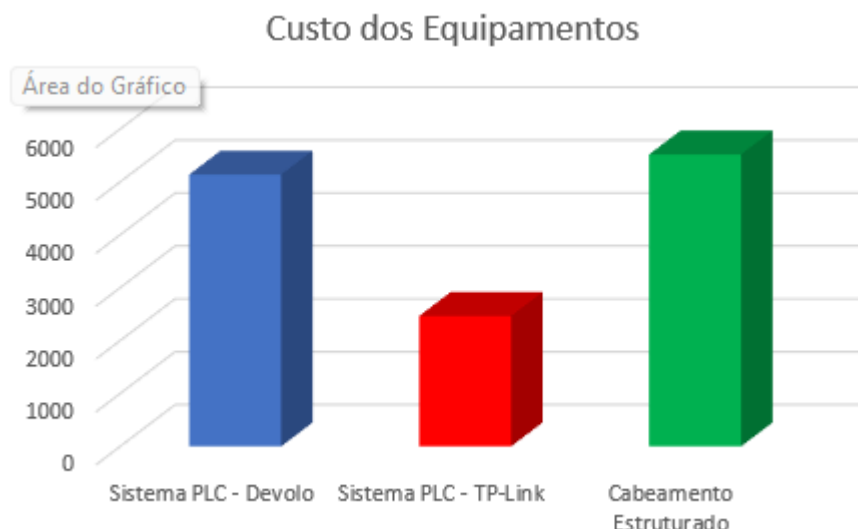
A presença de dispositivos na rede que podem causar interferência e a qualidade da estrutura da rede elétrica são consideradas. Sendo assim, as ferramentas para diagnosticar determinados problemas e os solucionar não são tão avançadas quanto o que se encontra disponível para redes *ethernet*.

Embora a instalação do sistema PLC seja mais simples e flexível, a manutenção e a solução de problemas na rede podem ser desafiadoras devido à variabilidade da estrutura. No sistema de cabeamento estruturado, a instalação inicial é mais cara e mais trabalhosa. Todavia, sua manutenção torna-se mais direta e previsível.

4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO

Um fator que pode influenciar na escolha do sistema PLC é a economia para implantação, visto que não precisa de novo cabeamento. Com base no levantamento de custos, pode-se comparar a diferença conforme a figura 4.1:

Figura 4.1: Comparativo de custos dos equipamentos.



Fonte: Autor (2023).

Ao se analisar a imagem, pode-se verificar a diferença quantitativa no custo dos equipamentos. O custo do sistema utilizando a marca TP-Link© ficou mais em conta do que o sistema de cabeamento estruturado e o sistema da marca Devolo©, visto que é uma marca comercializada no Brasil, tendo, com efeito, uma maior facilidade de acesso aos equipamentos e representantes da marca. Outro ponto que justifica o menor custo é que, em cada dispositivo do modelo WPA4220, há duas portas *ethernet*, podendo, assim, ser conectado dois equipamentos distintos. A marca Devolo©, por não ser comercializada no Brasil, fica com um custo mais caro do que o sistema PLC da marca TP-Link©, em vista que precisa ser feita a conversão de valores entre as moedas, assim também podendo ter variabilidade no preço conforme o tempo, justificando um custo maior. O sistema de cabeamento estruturado fica mais custoso do que ambos os sistemas PLC, em vista da maior quantidade de equipamentos necessários, ademais do fato de que é necessária uma fiação específica para cada ponto.

Outro ponto a se considerar, em casos em que ambos os sistemas atendem às necessidades de transmissão, é o custo de operação e manutenção de sistemas de cabeamento estruturado, como no exemplo de uma infraestrutura complexa, em que pode ser custosa a conservação, assim sendo mais viável aplicar sistemas PLC. Como citado anteriormente, para o monitoramento de usinas fotovoltaicas, pode ser vantajoso utilizar sistemas PLC para transmissão de dados para monitoramento.

No levantamento de custo do sistema de cabeamento estruturado, pode haver diferença no valor, posto que foram considerados equipamentos de custos mais impactantes no orçamento, podendo, assim, terem ficado alguns equipamentos de fora, como conexões,

ferramentas de crimpagem e etiquetas.

4.3 ANÁLISE DOS ADAPTADORES PLC

Para uma melhor comparação, foram escolhidas duas marcas diferentes para adaptadores. Dessa maneira, variaram o preço do sistema e a diferença entre os tipos de adaptadores PLC.

O adaptador PLC 1200+ da marca Devolo© tem uma largura de banda de até 1200 Mbps,

Tabela 4.2: Comparativo entre dispositivos 1200+ e TL-WPA4220.

	Devolo 1200+	TL-WPA4220
Velocidade de Transmissão	Até 1200 Mbps	Até 600 Mbps
Alcance (m)	400	300
Padrão de Comunicação	CSMA/CA (<i>Powerline</i>)	<i>HomePlug</i> AV
Segurança	128 Bit AES	AES de 128-bits Segurança do wireless: Criptografia WEP, WPA/WPA2, WPA- PSK/WPA2-PSK
Portas <i>Ethernet</i>	1x <i>Ethernet</i> RJ45	2x <i>Ethernet</i>
QoS	<i>Streaming e Gaming</i>	Transferência de dados para <i>stream</i> de dados em alta definição
Compatibilidade de Dispositivos	Produto compatíveis com outros da mesma marca e dispositivos que utilizem protocolo <i>HomePlug</i> AV	Compatível com outros dispositivos da marca e dispositivos que utilizem protocolo <i>HomePlug</i> AV.
Conectividade Wi-fi	Sim	Sim
Consumo de Energia	Máximo W/A: 5.3 Típico W/A: 4.1 <i>Stand-By</i> W/A: 0.7	Máximo: 7.608W (220V) Típico: 7.216W (220V) <i>Standby</i> : 4.610W (220V)
Suporte e Garantia	3 anos	1 ano

Recursos Adicionais	Não é necessário acoplador de fases, podendo ser utilizado em múltiplas tomadas. LED para indicação de qualidade de conexão e botões para pareamento, conexão e Wi-Fi.	LED para indicação de qualidade de conexão e botões para pareamento, conexão e Wi-Fi.
---------------------	--	---

Fonte: Autor (2023)

Com base na análise da tabela 4.2, nota-se a diferença entre os dois dispositivos em vários aspectos, assim justificando um valor de custo maior do modelo de adaptador 1200+. Um ponto importante é que, na folha de dados e site da Devolo®, indica-se que o modelo 1200+ funciona em tomada de circuitos diferentes, não precisando de acoplador de fases ou alteração na rede elétrica, ponto que não foi constatado no modelo TL-WPA4220.

O adaptador 1200+ sobressai na questão de velocidade de transmissão, distância entre os dispositivos e consumo de energia, além de conter mais recursos adicionais. O adaptador TL-WPA4220 tem mais entradas de *ethernet* e acaba tendo uma segurança maior.

4.4 ACOPLAMENTO DE DADOS

Outra questão importante para se atentar em sistemas PLC é o acoplamento de fases para conseguir transmitir ou receber dados entre fases diferentes. Com pesquisas em estudos e mercado, encontrou-se pouco sobre esses tipos de acopladores para venda. Em estudos, é costumeiro utilizar a mesma fase para fazer testes.

Um modelo de acoplador de fases encontrado no mercado foi da marca SEDNA ©, que pode ser conectado em um sistema trifásico, conforme figura 4.2.

Figura 4.2: Acoplador de fases da marca Sedna©.



Fonte: SEDNA© (2023).

Esse componente tem um custo de US\$ 28,90. Convertendo para o real, fica um custo de R\$145,54.

Além do acoplador, algumas outras soluções podem ser apresentadas como adaptadores com Acoplamento de fases integrado. O modelo 1200+ utilizado para estudo conta com o acoplamento integrado, assim se tornando uma solução eficaz. Utilização de Wi-Fi: Utilizar Adaptadores PLC que incluam funcionalidade Wi-Fi, assim podendo serem transmitidos, via Wi-Fi, os dados desejados para dispositivos em outras fases. Rede Elétrica: Reorganizar a rede elétrica de tal forma que os computadores fiquem situados em uma mesma fase. Redes independentes: Utilizar cada computador na fase em que está e interconectar os dispositivos PLC, usando um roteador com várias portas *Ethernet*.

5 PROPOSTAS DE PROJETOS FUTUROS

Aqui são mencionadas sugestões de estudo de projetos futuros para aprofundar a compreensão deste tópico, que vem ganhando cada vez mais espaço ao redor do mundo.

Uma das sugestões é a integração da tecnologia PLC a outras, como RF, com o intuito de criar uma rede híbrida, podendo, assim, superar as adversidades do sistema PLC. Isso visa superar as adversidades do sistema PLC, considerando fatores como velocidade de transmissão, latência, resistência a interferências, alcance e facilidade de implementação em diversos ambientes. O objetivo é compreender as circunstâncias em que essa abordagem híbrida pode ser mais vantajosa em comparação com redes puramente PLC ou RF. Essa análise contribui para o desenvolvimento e aprimoramento de infraestruturas de comunicação mais flexíveis e resilientes.

Outra proposta a ser explorada é a aplicação do PLC como meio para estabelecer conexão entre dispositivos de *Internet of Things* (IoT), particularmente em locais onde a implementação de cabeamento estruturado tradicional possa apresentar desafios ou custos elevados. Nesse caso, poderia ser em ambiente residencial ou industrial, considerando aspectos de baixo custo e a facilidade de instalação.

Além desses pontos, outra linha de estudo refere-se às soluções para superar a limitação de fases elétrica, buscando investigar e desenvolver soluções para superar as limitações encontradas ao utilizar o sistema PLC em sistemas trifásicos. Buscar-se-ia, em tais situações, otimizar a performance e expandir a aplicabilidade do sistema PLC.

Essas três propostas de trabalhos futuros representam um avanço para o campo de estudos da implantação de um sistema PLC, destacando-se temas de relevância e impacto para novas tecnologias de transmissão de dados e o desenvolvimento para inclusão digital.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta avaliação, levamos em conta variáveis como o custo-benefício, a facilidade de instalação, a qualidade e estabilidade da conexão, bem como as limitações e desafios associados à implementação dessa tecnologia. Comparando com as abordagens tradicionais de cabeamento estruturado, é essencial refletir se o sistema PLC atende às demandas específicas de desempenho e confiabilidade, garantindo uma rede robusta e eficiente.

A implantação de um sistema PLC para um escritório de pequeno porte pode ser funcional, desde que se avalie algumas características como a qualidade da fiação elétrica e equipamentos elétricos instalados na rede. Interferências causadas por dispositivos eletrônicos são o principal fator para diminuir a qualidade de transmissão do sistema, embora haja alguns cuidados que possam amenizar e, assim, tornar funcional o sistema. O fator de utilizar a rede elétrica, sem a necessidade de mexer na infraestrutura da construção, resulta na redução de custos, otimização do espaço e eficiência para inclusão digital às demais localidades.

A comparação entre os sistemas citados neste estudo foi baseada nas informações adquiridas por *datasheet* dos equipamentos encontrados no site dos fabricantes e por referencial teórico de estudos sobre a tecnologia PLC em comparação com outras tecnologias de transmissão de dados.

Contrastando os sistemas e levando em conta suas particularidades, é possível verificar as vantagens e desvantagens de um sistema sobre o outro. O sistema PLC poder ser mais econômico e ter maior viabilidade em locais com dificuldade de levar novo cabeamento ou onde o custo de instalação fica com um custo elevado para instalação e futuras manutenções. O sistema de cabeamento estruturado tem uma transmissão melhor e mais confiável.

Entre os dispositivos PLC comparados, é possível verificar que, de acordo a sua necessidade, o local terá o produto que melhor suprirá as necessidades.

Para as condições e estruturas do cenário definido, visando atender as particularidades e focando em uma boa transmissão de dados, o estudo aponta que, com os cuidados necessários, o sistema PLC apresenta uma boa robustez e alcance para aplicações simples.

Entre as marcas escolhidas, ambas atendem o cenário, com o dispositivo da marca Devolo© se sobressaindo, por ser um equipamento mais robusto. O dispositivo da TP-Link© TL-WPA4220 apresenta um custo mais econômico e é facilmente encontrado e comercializado no Brasil, tornando-se, por conseguinte, o mais viável para o caso apresentado.

No entanto, a implementação do sistema PLC também apresenta desafios. Figuram

como significantes o cuidado com os dispositivos instalados ou que forem conectados na rede elétrica, pois podem gerar interferências e diminuir o desempenho da rede. Porém, ainda assim, a proposta se faz viável, considerando os benefícios, equipamentos e considerações sobre o funcionamento do local.

Outro ponto a se considerar, no sistema trifásico, é a utilização de fases diferentes no sistema, visto que não é realizada a comunicação de dados entre as fases, funcionando a transmissão somente na mesma fase, necessitando-se, assim, de um acoplador de fases. Com pesquisas em estudos e no mercado, pouco se encontra sobre acopladores. No entanto, há opções para contornar esse desafio.

Além disso, é importante ressaltar que a implantação de um sistema PLC não deve ser vista como uma solução única para os problemas de ampliação de sistemas de transmissão de dados. É necessário que haja mais estudos sobre lacunas vagas e que se efetue uma investigação acerca da combinação com outros tipos de tecnologia que possam otimizar custos e promover melhor o funcionamento.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos possam ser utilizados como base para futuras pesquisas, para locais de pequeno porte que tenham interesse em implantar o sistema e para a tomada de decisão sobre alternativas para expansão de redes de transmissão de dados, quando se torna inviável utilização de uma nova estrutura de cabeamento estruturado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **RESOLUÇÃO Nº 527:** Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica. 2009.
- BELETTINI, Cassiano Tramontin. **Estudo de Viabilidade da Utilização da Tecnologia Power Line Communication - PLC em Redes Locais em Comparativo com Cabo de Par Trançado.** 2015. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologias da Informação e Comunicação, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Araranguá, 2015.
- BERGER, Lars Torsten; INIEWSKI, Krzysztof. **REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES:** aplicações, comunicação e segurança. Rio de Janeiro: Ltc, 2015. Tradução de: *Smart grid: applications, communications and security*.
- CARDOSO, Beto Douglas Alves et al. **TECNOLOGIA POWER LINE COMMUNICATION (PLC): Comparativo entre o Brasil e outros Países.** Unibalsas – Faculdade de Balsas. Maranhão, 2017.
- COELHO, Daniel Mateus. As vantagens na utilização do *Power Line Communication* em operações interagências. **O Comunicante**, v. 8, n. 2, p. 32-37, 2018.
- COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Relatório Técnico da Avaliação da Tecnologia Powerline Communications (PLC)**, Curitiba, mar. 2010.
- COSTA, E. A da. **Automação da medição e segurança de dados em redes inteligentes: estudo de experiência brasileira.** Dissertação (Mestrado em Metrologia). Rio de Janeiro. 2012.
- DELGADO, Jair José Lopes. **Redes Eléctricas Digitais Power Line Communication:- Desafios e Oportunidades para Cabo Verde.** Universidade Jean Piaget de Cabo Verde. Cidade da Praia. 2008
- Faccioni, A. U., Trichez, L. M., & Macedo, R. L. (2008). Análise sobre a tecnologia PLC (*Power Line Communication*). *Revista E-TECH: Tecnologias Para Competitividade Industrial* - ISSN - 1983-1838, 1(2), 54–74. <https://doi.org/10.18624/e-tech.v1i2.48>.
- FARIA, Tássilu; NAKATSUKASA, Dennis Yonaha; KERSCHER Luis Fernando; EGGEA, Rodrigo Fagundes. **Relatório Técnico da Avaliação da Tecnologia Power line Communications (PLC).** 2010, Relatório - Companhia Paranaense de Energia. Diretoria de Geração e Transmissão de Energia e de Telecomunicações – DGT. Superintendência de Telecomunicações – STL. Curitiba. 2010
- FERREIRA, Hendrik C.; GROV, Henricus M.; HOOIJEN, Olaf; VINCK, A. J. Han. *Power Line Communication. Wiley Encyclopedia Of Electrical And Electronics Engineering*, p. 706-716, 27 dez. 1999. John Wiley & Sons, Inc.. <http://dx.doi.org/10.1002/047134608x.w2004>.

FERREIRA, Marcus Vinicius de Almeida. **PLC - Power Line Communication**. 2000. Departamento de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000.

GALLI, Stefano; SCAGLIONE, Anna; WANG, Zhifang. *For the Grid and Through the Grid: the role of power line communications in the smart grid*. **Proceedings Of The IEEE**, [S.L.], v. 99, n. 6, p. 998-1027, jun. 2011. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2011.2109670>.

GALLOTTI, V. D. M. *Intelligent electric power networks (Smart Grids)*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e30010918322, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18322>

GOODWE. **Comunicador PLC para fibra ótica**. Disponível em: <https://br.goodwe.com/scb3000-ab>. Acesso em: 04 de Novembro de 2023.

KIM, Sungwook; KWON, Eun Young; KIM, Myungsun; CHEON, Jung Hee; JU, Seong-Ho; LIM, Yong-Hoon; CHOI, Moon-Seok. *A Secure Smart-Metering Protocol Over Power-Line Communication*. **IEEE Transactions On Power Delivery**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 2370-2379, out. 2011. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. <http://dx.doi.org/10.1109/tpwrd.2011.2158671>.

LUTZ, Lampe; TONELLO, Andrea M.; SWART, Theo G. **Power Line Communications: principles, standards and applications from multimedia to smart grid**. Wiley, 2014. 624 p.

MARQUES, Gabriel Alan Gehm. **Transmissão de dados via rede elétrica**. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/gabriel_marques/dados_via_rede_01.html>.

MARQUES, Fabio da Silva. **Contribuições para Regulamentação da Tecnologia PLC no Brasil com Base em Testes de Campo**. 2009. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

MELO JUNIOR, Alcir Rodrigues de; MENDES, Luís Augusto Mattos. **Transmissão de Dados por PLC: Um estudo Comparativo Entre as Tecnologias Cabeadas e Wi-fi**. UNIPAC, Minas Gerais, v-15, p.1-15, maior 2009.

MENEZES, Wesley Rodrigues de. **Medidores Inteligentes e Comunicação de Dados em Redes Inteligentes**. 2020. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

MLYNEK, P.; MISUREC, J.; KOLKA, Z.; SLACIK, J.; FUJDIK, R.. *Narrowband Power Line Communication for Smart Metering and Street Lighting Control*. **Ifac-Papersonline**, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 215-219, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.035>.

MOTA, A.; MOTA, L.; RICARDO, R.; PALETA, R. **Análise de Desempenho de Sistemas PLC em Redes Elétricas de Média Tensão**. *The 8th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission*. 2009.

MUDRIIEVSKYI, S. (2014). *Power Line Communications: State of the art in research, development and application*. **AEU - International Journal of Electronics and Communications**, 68(7), 575–577. doi:10.1016/j.aeue.2014.04.003

MULLER, Ronie Wesley. *Power Line Communication - Uma Breve Apresentação*. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Facear**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 1-7, abr. 2016.

NETO, Antônio Ferreira; FERREIRA, Renato Augusto; TOKUMITSU, Tiago; MARTINS, Henrique Pachioni. **Teste comparativo de uma rede local com Wi-Fi e a tecnologia Power Line Communication**. Caderno de Estudos, 2017.

PARRA ENCALADA, Mariuxu Elizabeth. *Estudio y diseño de una red lan para voz y datos, utilizando tecnología power line communications (PLC) como alternativa al cableado estructurado para un edificio de oficinas*. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso. QUITO/EPN/2008.

PILARSKI, André Luís. **POWER LINE COMMUNICATIONS - PLC**. 2015. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RIVERA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXEIRA, Ingrid. Redes elétricas inteligentes (*Smart Grid*): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Bndes**, S.I, p. 1-83, dez. 2013.

SANTOS, Túlio Ligneul. *Power Line Communication*. Disponível em:<
https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/index.htm>

SILVA, J. L. *et al.* Técnica OFDM Aplicada a *Power Line Communications*. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2003, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Citenel, 2003. v. 1, p. 1071-1074.

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes: Smart Grid Handbook**. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

TROMPOWSKY, José Felipe Manoel Von et al. **Estudo da interferência eletromagnética gerada por redes PLC (Power Line Communication) no interior de edificações**. 2005.

Y.-J. Lin, H. A. Latchman, M. Lee e S. Katar, “A power line communication network infrastructure for the smart home“, **IEEE Wireless Communications**, vol. 9, no.6, pp. 104.111, dezembro de 2002.