

## 2 Panorama do PLC

Este Capítulo tem por objetivo fazer um histórico da tecnologia PLC, percorrendo desde o surgimento do PLC até os avanços mais recentes. Para isso é feito um breve histórico e depois um detalhamento maior da tecnologia, tratando de assuntos mais complexos como aplicações, funcionamento e até aspectos regulamentares do PLC.

### 2.1 Histórico

A transmissão de sinais via linha de potência é um conceito antigo dos anos 30, no entanto, nessa época ela não era considerada como um meio de comunicação viável devido à sua baixa velocidade e funcionalidade, além do alto custo. Há cerca de 30 anos, foi inventado um sistema conhecido como “babá eletrônica” (Silva\_A, 2009). Este equipamento permitia modular e injetar na rede elétrica os sons captados por um microfone, sendo o mesmo sinal recuperado em outro ambiente e convertido em som novamente. A partir desse cenário surge então a ideia de se transmitir dados e informações por meio dos cabos da rede elétrica.

O conceito de PLC surgiu no início do século XX, existindo várias aplicações. A primeira patente do PLC foi registrada em 1897. Inicialmente, foi denominada de *Power Line Carrier*, sendo muito utilizada em companhias de energia elétrica para a comunicação de voz e dados entre as subestações. O Carrier utilizava redes de alta tensão (69 KV a 500 KV), operava em uma faixa de 30 a 400 KHz e sua velocidade era baixa, no máximo 9,6 Kbps. Além da comunicação de voz, esse tipo de transmissão permitia serviços de telemedição, telesupervisão e telecomando em usinas geradoras de energia elétrica. Geralmente, essas aplicações eram utilizadas nas áreas de operação, manutenção e

planejamento do sistema elétrico nas usinas, nos centros de operação do sistema e nas diversas subestações.

Em suma, a tecnologia PLC nunca foi considerada de fato como um meio de comunicação, devido à sua baixa velocidade e funcionalidade, e alto custo de desenvolvimento, mas mesmo com todas essas dificuldades ela tem sido disponibilizada desde 1930 em áreas de operação, como citado no parágrafo anterior. Historicamente, o PLC não era apenas um mecanismo de controle para utilidades elétricas, mas também foi projetado para enviar comandos simples na rede elétrica em frequências baixas, tipicamente de 100 a 180 kHz (Kwon, 2009).

## 2.2 Aplicações

A tecnologia PLC é utilizada pelas empresas de energia elétrica desde 1930, sendo usada na telemedição e telecomando de equipamentos em subestações. Hoje, com o avanço das técnicas de modulação e maior acesso aos sistemas de telecomunicações devido à queda de preço, essa tecnologia passa a ser aplicada em sistemas de telemetria, automação, telefonia e internet banda larga, que é uma das aplicações de maior destaque no mercado de PLC.

As aplicações de banda estreita podem ser vistas no controle de equipamentos domésticos e de automação, assim como leitura automática de informações, tais como luz, gás e água. Já nas aplicações de banda larga pode-se citar o acesso à internet, telefonia por IP (VoIP), compartilhamento de recursos de computador como a formação de redes, etc. Esta tecnologia é conhecida como *Power Line Communication* (PLC), que é o padrão europeu, ou como *Broadband Over Power Lines* (BPL), que é o padrão americano.

No Brasil, a comercialização do serviço de PLC é escassa ainda. Os trabalhos estão mais voltados para o ponto de vista da inclusão digital, sendo a maioria projetos pilotos da tecnologia. Mais adiante, no Capítulo 3, será dada uma prévia dos projetos PLC em nível nacional e mundial.

## 2.2.1 Avanço da Tecnologia

Ao longo dos anos, a tecnologia foi avançando e foram surgindo novas técnicas e hoje a taxa de transferência do PLC pode chegar até 224 Mbps. Vale lembrar que essa é a velocidade de pico em ambientes ideais de transmissão, uma vez que a rede elétrica não foi projetada para ser utilizada como canal de comunicação. O fator motivador na evolução da transmissão de dados em banda larga foi a necessidade da população por serviços de telecomunicações cada vez mais velozes para a troca de informações. Em 30 anos a tecnologia passou da velocidade de 10 kbps para 200 Mbps na camada física e em 2010 estava prevista alcançar 400 Mbps e em 2015 a previsão é que sua velocidade chegue a 1 Gbps também na camada física (Ribeiro, 2009).

A velocidade de transmissão de dados do PLC está relacionada com os avanços nas técnicas de modulação e multiplexação (Alves, 2009). Quanto mais sofisticadas as técnicas de modulação e codificação de canais, menor o impacto do ruído da rede na informação. O objetivo da modulação é transformar um sinal de maneira adequada para transmissão por meio de um canal. O transmissor recebe a mensagem e a modifica de acordo com o padrão para ser enviado no canal de transmissão. O receptor recria a mensagem original a partir do sinal recebido pelo canal, no entanto, em muitas situações não é possível refazer a exata informação original devido à presença de ruído e distorção do sinal. Esses ruídos e distorções estão relacionados pelo tipo de modulação usada para a transmissão do sinal. Já a multiplexação combina vários sinais para a transmissão simultânea em um mesmo canal.

Os serviços em potencial que o PLC pode proporcionar incluem os listados a seguir :

- Telefonia de voz via internet (VoIP);
- Monitoramento e controle automático de equipamentos do usuário, incluindo resposta de demanda e redução de carga;
- Dados de fatura e consumo de energia;
- Monitoramento com registro de relatório para segurança de prédios;
- Rastreamento de inventário automático de bens como por exemplo estoque de combustíveis;
- Informação de preço dinâmico;

- Vídeo sob demanda;
- Transmissão de áudio;
- Jogos baseados na internet interconectados em tempo real;
- Transmissão de dados, telefone e fax sem a necessidade de conexão de linhas telefônicas fixas;
- Serviço triplo de dados, voz e vídeo;
- Infraestrutura para serviços quádruplos e triplos, e rede de automação doméstica (Kwon, 2009).

### 2.2.2 Funcionamento do PLC

Existem dois tipos de PLC, o *indoor* e o *outdoor* (Martins, 2006). O *outdoor* possui um equipamento denominado Master, próximo ao transformador de energia, no qual o sinal é injetado nos cabos da rede elétrica. Esse dispositivo torna possível que o sinal PLC fique disponível em toda rede elétrica que, ligada ao transformador, transforma cada tomada em um ponto de rede PLC. Na outra ponta do sistema é instalado um modem à tomada para receber o sinal enviado pelo Master. O objetivo do modem é fazer a decodificação dos sinais elétricos para os de informação. O modelo *indoor* consiste em uma caixa comutadora que interliga uma rede de banda larga, *Wi-Fi*, *Cable Modem* ou qualquer outra com a rede elétrica interna de uma casa. Dessa forma, as tomadas também funcionam como pontos de conexão de uma rede de dados, assim como no sistema *outdoor*. Este sistema *indoor* pode ainda usar adaptadores e roteadores que eliminam completamente os fios, como os mostrados na Figura 2. Para uma rede doméstica existem modems que "injetam" o sinal em sua rede elétrica residencial e, caso haja uma placa de rede *wireless*, há modelos de "Pontos de Acesso *Powerline Wireless*" que 'capturam' o sinal na tomada mais próxima do computador, e disponibilizam o sinal como um roteador *wireless* qualquer (Monqueiro, 2007). A Figura 1 ilustra o funcionamento do PLC conforme foi explicado e a Figura 2 ilustra exemplos de adaptadores para eliminação dos fios.

Outdoor

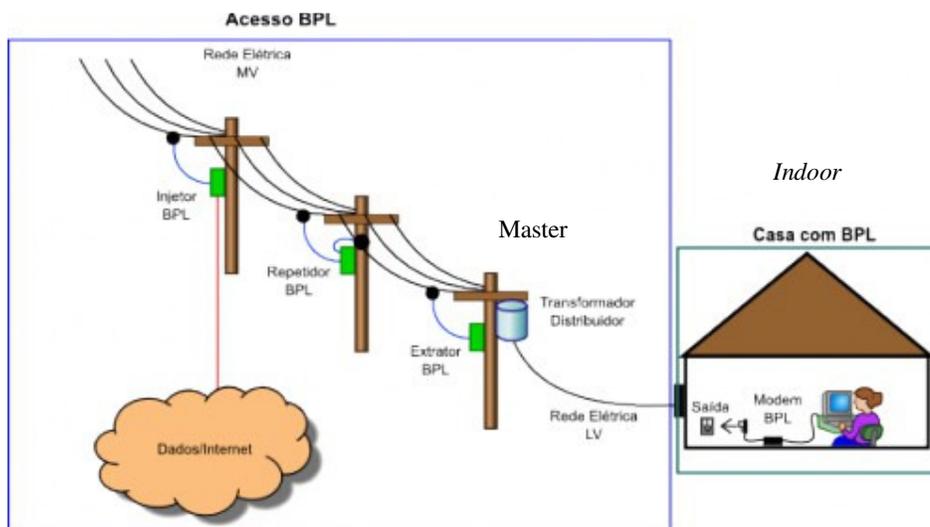


Figura 1: Funcionamento de uma rede de PLC

Fonte: [www.hardware.com.br](http://www.hardware.com.br)

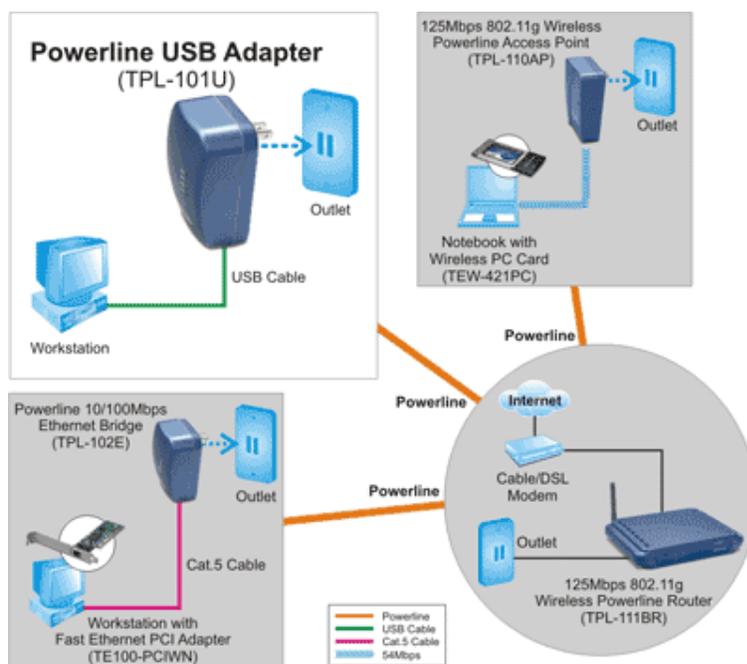


Figura 2: Exemplo de adaptadores para eliminar fios

Fonte: <http://www.hardware.com.br/artigos/internet-rede-eletrica/>

Pode-se também caracterizar a topologia da rede que se divide em dois tipos de estruturas de conectividade, o *backbone* e o acesso que também é chamado de última milha. O *backbone* engloba um conjunto de equipamentos e

meios de transmissão que dão apoio a outras estruturas de rede. A grande vantagem dessa estrutura é o seu alcance, pois é capaz de interligar cidades, estados e até países ao redor do mundo. Já as tecnologias de acesso são restritas às redes disponibilizadas para o usuário final. Pode-se dizer que o *backbone* é mais usado no PLC *outdoor*, enquanto o acesso está mais relacionado com o PLC *indoor*, ou seja, tem um alcance pequeno, frequentemente usado em casas e prédios. A tecnologia de última milha PLC pode chegar a uma velocidade de 400 Mbps tanto na transmissão como na recepção de dados. O interessante é juntar essa tecnologia com a comunicação via satélite, possibilitando que a informação chegue em locais distantes e de difícil acesso, ou seja, fazer uma combinação do PLC *indoor* com o *outdoor*. O satélite transmite o sinal de conexão para várias partes inacessíveis pela grande maioria da população, permitindo que usuários separados possam se comunicar simultaneamente sem a necessidade de implantação de novas estruturas. O satélite faria o papel de *backbone*, permitindo o acesso à internet através do PLC. Essa combinação de tecnologias foi testada pela empresa CELG de energia elétrica no Estado de Goiás. O seu grande objetivo era testar a qualidade de serviços básicos da internet, explorando áreas remotas e de grande capilaridade da rede de energia elétrica.

A grande vantagem do satélite é acessar regiões geograficamente distantes, apresentando uma boa relação custo versus benefício. Além disso, apresenta uma facilidade de implantação na frente de outras tecnologias, como a fibra óptica, que requer uma nova e grande infraestrutura de aquisição e instalação dos cabos. Para se ter uma breve ideia, com uma antena, um modem e um circuito de satélite pode-se implantar em semanas uma infraestrutura de acesso, enquanto via cabo ou qualquer outra infraestrutura terrestre se demoraria meses. Além do alto alcance, o conceito de satélite é confiável, sendo utilizado o VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) para conectar locais distantes.

A tecnologia PLC opera numa faixa de frequência de 1 a 34 MHz e pode utilizar vários tipos de modulação, como o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que é uma técnica comumente usada na banda larga, pois tem menos susceptibilidade a interferências. Outra técnica de modulação também muito comum é a DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

## 2.3 Aspectos Regulamentares

No Brasil, a tecnologia PLC ainda é pioneira, considerando a recente normatização pelos órgãos da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Essa tecnologia foi aprovada pela ANATEL em 2008, de acordo com aspectos regulamentares publicados. A ANATEL estabeleceu em agosto de 2008 um regulamento sobre as condições de uso de radiofrequências por sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica, definindo uma faixa entre 1,705 kHz e 50 MHz para o serviço, sujeito a restrições em caso de causar interferências em outros serviços (ANATEL\_A, 2008). Foi especificado também um filtro para frequências abaixo de 30 MHz com o objetivo de evitar interferências e atenuar as radiações indesejadas a um nível de pelo menos 20 dB abaixo dos limites especificados. Para frequências acima de 30 MHz, o nível mínimo é de 10 dB abaixo dos limites do regulamento (Grossman, 2010). A regulamentação nº 527 publicada pela ANATEL em abril de 2009 aprova o Regulamento sobre as Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga através de Redes de Energia Elétrica. Além disso, os equipamentos que compõem o sistema PLC devem ter certificação expedida pela ANATEL, de acordo com a regulamentação vigente (ANATEL\_A, 2008), e atender às normas cabíveis (ANEEL\_D, 2009), referentes ao sistema elétrico, expedidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (Rego, 2008). A tecnologia ainda não apresenta uma regulamentação universal, o que dificulta a importação de equipamentos da Europa e Estados Unidos, por exemplo, já que estes deverão ser testados em laboratórios brasileiros para receberem a certificação ou homologação da ANATEL.

Atualmente, as empresas do setor de energia podem atuar no mercado de telecomunicações, gerando mais uma alternativa no mercado através da diversificação de seus serviços. Em Agosto de 2009, a ANEEL regulamentou a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais (ANEEL\_G, 2009). Esse setor ganha vantagem em relação às operadoras de telecomunicações, uma vez que a capilaridade de suas redes são superiores e mais abrangentes,

principalmente nas regiões carentes afastadas dos grandes centros urbanos, nas quais nem todos têm acesso à conexão telefônica.

Na Europa e na maior parte do mundo, as normas e padrões do PLC permitem a comunicação na rede elétrica de 220V - 240V nas frequências de 30 KHz a 150 KHz. Nos Estados Unidos, a comunicação é feita nas redes elétricas de 120V em frequências acima de 150 KHz. (Kwon, 2009).

As regulamentações que afetam o PLC assim como outras tecnologias de comunicação podem ser classificadas em dois aspectos, técnico e de negócio. O primeiro lida com aspectos envolvendo tecnologias escolhidas, níveis de emissão aceitáveis e alocação de banda, ao passo que o segundo determina como o negócio pode gerenciar aspectos comerciais, cobrindo pacotes, acessos abertos, modelos de negócio, custo, etc. (Ribeiro, 2009).

## **2.4 Principais Tecnologias PLC**

Existem vários padrões de PLC que dificultam a universalização da tecnologia. Foi visto que a tecnologia PLC existe há mais de 30 anos, cada uma com sua particularidade e aplicabilidade, tanto na banda estreita, como na banda larga.

O principal diferencial entre os padrões é a frequência, cada uma com suas vantagens. No Brasil, não existe um padrão definido, e a tendência é que o japonês, americano e europeu reinem juntos. Hoje, as versões comerciais vendidas no exterior chegam com uma velocidade média de 200 Mbps. Os principais fornecedores destes equipamentos, tanto na Europa, Estados Unidos e Ásia são: Solimax Tecnologia, NetGear, Aztech Electronics, Intellon Corporation, Ascom e Devolo.

A seguir, serão apresentadas as principais tecnologias PLC do mercado com as suas funções, vantagens e desvantagens.

### 2.4.1 X-10 PLC (Power Line Carrier)

Existe há mais de 20 anos e o seu foco era o controle de equipamentos como interruptores, controles remoto, sensores de presença, etc. Possui grande aplicação na banda estreita, principalmente pelas empresas de energia. A sua grande vantagem era o baixo custo e a desvantagem a sua restrição de velocidade.

### 2.4.2 Intellon CEBus

O *Intellon* é uma empresa privada que produz aparelhos de acordo com o padrão *CEBus* (*Consumer Electronic Bus*) (Vargas, 2004). O *CEBus* é um padrão aberto desenvolvido pela Associação das Indústrias de Eletrônica (EIA). A tecnologia *Intellon* controla a capacidade das redes residenciais, chegando a uma transmissão de pacote de dados na faixa de 10 Kbps. As desvantagens são o alto custo e a pouca oferta de produtos *CEBus*. Não foi muito difundido no mercado.

### 2.4.3 Echelon Lon Works

*Lon Works* (Vargas, 2004) é uma tecnologia originada da empresa *Echelon* com a função de proporcionar uma infraestrutura para o funcionamento de uma rede local denominada LON (*Local Operating Network*). Esse sistema utiliza a comunicação *peer-to-peer* e chega em média a uma taxa de 10 kps. É também uma tecnologia de alto custo, sendo mais aplicada em ambientes comerciais e industriais. Também não teve grande aceitação no mercado.

### 2.4.4 Adaptive Networks

A Adaptive Networks utiliza a tecnologia *spread spectrum* (Vargas, 2004) e chega a uma taxa de transmissão na faixa de 19,2 Kbps a 100 Kbps. Também é uma tecnologia cara e não é indicada para aplicações de banda larga como compartilhamento de arquivos, voz digital e transmissão de vídeo. Também é mais difundida em ambientes de grandes proporções devido ao alto custo.

### 2.4.5 PLUG-IN

A tecnologia *PLUG-IN* (Vargas, 2004) foi desenvolvida pela *Intelogis* e utiliza a modulação FSK (*Frequency Shift Keying*) que possui um custo bem mais reduzido do que a modulação *spread spectrum*. A taxa de transmissão chega a 350 Kbps. Essas características fazem com a tecnologia tenha alta aplicabilidade tanto no ambiente comercial como no residencial.

### 2.4.6 HomePlug

A tecnologia *HomePlug* lidera o mercado americano atualmente. Foi criada por uma aliança americana em 2000 chamada *HomePlug Powerline Alliance* composta por 13 empresas que tinham como objetivo criar um padrão para o BPL. Utiliza a técnica de modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e sua velocidade pode chegar até 200 Mbps.

### 2.4.7 DS2

A tecnologia mais usada hoje na Europa é o DS2 que utiliza técnicas do fabricante Espanhol (DS2). Já está disponível comercialmente através da distribuidora de energia elétrica espanhola ENDESA. A DS2, *Diseños de Silicio*, é uma empresa espanhola da cidade de Valência que projeta chips responsáveis por criar possibilidades para a Internet elétrica. Em 2007 foi criado um chip com velocidade de 400 Mbps, compatível com a versão anterior que transmitia 200 Mbps. Essa versão teve seu lançamento comercial previsto em cerca de 2009.