

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE NATALENSE PARA O DESENVOLVIMENTO DO RN
PÓS-GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**

GEORGE LUÍS BARBOSA DA CÂMARA

TECNOLOGIA PLC - POWER LINE COMMUNICATION

**NATAL/RN
2009**

GEORGE LUÍS BARBOSA DA CÂMARA

TECNOLOGIA PLC - POWER LINE COMMUNICATION

Monografia apresentado ao curso de Especialização em Redes de Computadores da Faculdade Natalense para o Desenvolvimento do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores.

**Orientador:
Dr. Antônio Luiz P. Siqueira Campos**

**NATAL/RN
2009**

Câmara, George Luís Barbosa da
Tecnologia PLC – Power line Communication. / George Luís
Barbosa da Câmara. – Natal: FARN, 2009.
41f.

Orientador: Antônio Luiz P. Siqueira Campos (Dr.)
Monografia (Especialização em Redes de Computadores) – Faculdade
Natalense para o Desenvolvimento do Rio Grande do Norte.

1. Redes de Computadores - Monografia. 2. Rede Elétrica - Monografia.
3. Sistema de Segurança – Monografia. I.Título.

RN/FARN/BC

CDU 004.7:621.391

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
FACULDADE NATALENSE PARA O DESENVOLVIMENTO DO RN
ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES**

George Luís Barbosa da Câmara

TECNOLOGIA PLC - POWER LINE COMMUNICATION

Monografia apresentada e aprovada em ____ de _____ de _____ pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Antônio Luiz P. Siqueira Campos
(orientador)

Membro Examinador

Membro Examinador

Natal/RN, ____ de _____ de _____

Aos meus pais dedico este trabalho, como resultado de meu esforço e também do apoio que deles recebi em todos os projetos de minha vida.

À minha madrinha, Socorro, pelo apoio constante.

À minha noiva, Sharon, pelo apoio e paciência.

RESUMO

Este trabalho de pesquisa à tecnologia de comunicação que utiliza a rede elétrica como meio de transmissão, abrange os serviços disponibilizados por esta tecnologia, suas características e a fase atual de seu desenvolvimento. São relacionadas especificações técnicas da tecnologia, suas conquistas, vantagens e desvantagens enfrentadas pela mesma. Há, ainda, a citação de projetos e pesquisas realizados no Brasil e no mundo e mais detalhes sobre esta tecnologia que promete ser uma forte concorrente das outras tecnologias que provêm comunicação em banda larga.

ABSTRACT

This work is based on the research of the communication technology that uses the electric infrastructure as the medium of transmission. It encloses the services available for the technology, its characteristics and the its current development phase. The Technical specifications, its conquests, advantages and disadvantages and problems of the technology are related. It still has the citation of projects and researches carried through in Brazil and around the world. With more details about this technology which is a promise to be one strong rival to other technologies that provide broad band communication.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>13</i>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2	COMUNICAÇÃO VIA REDE ELÉTRICA	15
2.1	HISTÓRICO.....	15
2.2	TOPOLOGIA	16
2.2.1	<i>Rede de Distribuição.....</i>	<i>21</i>
2.2.2	<i>Rede de Transporte</i>	<i>21</i>
2.2.3	<i>Rede de Acesso.....</i>	<i>21</i>
2.2.4	<i>Rede de Comunicação Interna do Usuário</i>	<i>21</i>
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO CANAL PLC	22
2.4	SUB-CAMADA DE ACESSO AO MEIO	23
2.4.1	<i>MAC (Media Access Control)</i>	<i>23</i>
2.4.2	<i>OFDM/TDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing/Time Division Multiple Access)24</i>	
2.4.3	<i>CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance)</i>	<i>24</i>
2.4.4	<i>CAC (Connection Admission Control).....</i>	<i>25</i>
2.5	MODULAÇÃO MULTIPORTADORA	25
2.5.1	<i>Multiplexação OFDM</i>	<i>25</i>
2.5.2	<i>Geração de sinais OFDM</i>	<i>26</i>
2.5.3	<i>Desafios da multiplexação OFDM.....</i>	<i>27</i>
2.5.4	<i>Detecção e Correção de Erros.....</i>	<i>27</i>
2.5.5	<i>Segurança e Privacidade</i>	<i>28</i>
3	USO DA TECNOLOGIA PLC.....	29
3.1	PLC NO BRASIL	29
3.1.1	<i>Projeto Barreirinhas - Ilha Digital</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Objetivos do Projeto Barreirinhas.....</i>	<i>30</i>
3.1.3	<i>Resultados alcançados pelo Projeto</i>	<i>30</i>
3.2	PROJETO PILOTO PLC RESTINGA	31
3.3	A ANEEL E A APROVAÇÃO DO USO DO PLC NO BRASIL	32
3.4	PLC NO MUNDO	32
3.4.1	<i>O Projeto OPERA</i>	<i>33</i>
3.4.2	<i>Objetivos do Projeto OPERA.....</i>	<i>33</i>
3.4.3	<i>Primeira fase do Projeto OPERA</i>	<i>35</i>
3.4.4	<i>Segunda fase do Projeto OPERA.....</i>	<i>36</i>
3.4.5	<i>Resultado Final do Projeto OPERA.....</i>	<i>38</i>
4	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: O estado atual da tecnologia PLC e metas pretendidas pelo projeto. Fonte: (OPERA, 2008).....	34
Tabela 2: Comparação entre as fases 1 e 2 do Projeto OPERA. Fonte: (OPERA, 2008).	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Topologia típica de uma rede PLC.	17
Figura 2: Modem PLC.	18
Figura 3: Repetidor Mestre de Média Tensão.	18
Figura 4: Repetidor Outdoor.....	19
Figura 5: Repetidor localizado junto ao medidor residencial.....	19
Figura 6: Exemplos de acopladores.....	20
Figura 7: Caixa de distribuição.....	20
Figura 8: Rede de Comunicação Interna.	22
Figura 9: OFDM sobre TDMA. Fonte: (HRASNICA et al, 2004).	24
Figura 10: Ondas de sinais na multiplexação OFDM. Fonte: (HRASNICA et al, 2004).	26

LISTA DE ABREVIATURAS

BPL – Broadband over Power Lines

CAC – Connection Admission Control

EMC – Electromagnetic Compatibility

GIS – Geographic Information System

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

ICI – Inter- Carrier Interference

IEC – International Electrotechnical Commission

ISI – Intersymbol-Interference

MAC – Media Access Control

MCM – MultiCarrier Modulation

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OPERA – Open PLC European Research Alliance

OSI – Open Systems Interconnection

PLC – Power Line Communication

PSD – Power spectral density

QoS – Quality of Service

TDMA – Time Division Multiple Access

1 INTRODUÇÃO

A Internet está se tornando, de forma crescente, uma ferramenta vital em nossa sociedade da informação. A cada dia, mais pessoas buscam se tornar “conectados”, a fim de poderem conduzir, de forma mais simples, rápida e prática, atividades diárias tais como, transações bancárias, correspondência pessoal (e-mails), pesquisar novas informações e compras. A cada ano, a obtenção de avanços econômicos, educacionais e sociais fica mais dependente de se estar digitalmente conectado.

Uma das características das redes em ambientes domiciliares é a presença de pontos de acesso à rede na residência. O mercado para os próximos anos em redes em ambientes domiciliares será a integração de diversos dispositivos, com qualidade de serviço, equipamentos de áudio e vídeo.

As redes em ambientes domiciliares através da rede elétrica (Redes PLC – *Power Line Communication*) são uma alternativa de acesso, pois apresentam uma vantagem neste âmbito das redes domiciliares, uma vez que conseguem utilizar o meio existente para realizar a comunicação entre os diversos dispositivos como computadores, aparelhos de som, vídeo, eletrodoméstico, telefonia *voip* (voz sobre IP) e compartilhamento de acesso a Internet de banda larga. Somente na rede de baixa tensão já se pode propagar os sinais digitais por distâncias de até 1,5 km com a tecnologia PLC, sem uso de repetidores. Ao estar dominada a propagação pela rede de média tensão, em breve, esta distância poderá superar os 5 km.

Essa tecnologia é uma alternativa de acesso, pois não necessita de uma nova infraestrutura para sua implementação, nem a necessidade de proceder a obras civis para instalação de novos cabos que podem ser decisiva na escolha da tecnologia a ser adotada.

A comunicação via rede elétrica não é recente, pois já nos anos 30 existiam aplicações no controle industrial e telemetria. No entanto, apenas recentemente, com os avanços na área de processamento de sinais e transmissão digital (que combina várias técnicas de modulação e correção de erros), a tecnologia PLC tem sido considerada como uma alternativa viável para comunicação de alta velocidade.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa promover o estudo da tecnologia PLC, mostrando seu funcionamento, suas técnicas e suas vantagens e desvantagens.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, as seguintes etapas serão seguidas:

- Acompanhar o desenvolvimento e padronização da tecnologia PLC;
- Apresentar sua topologia;
- Identificar o padrão usado para a modulação do sinal utilizado para transmissão de dados;
- Identificar o padrão usado para técnicas de detecção de erros;
- Identificar o padrão usado para segurança;
- Verificar projetos relacionados à tecnologia no Brasil e no mundo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar de haver uma enorme necessidade de se prover o acesso à Internet por meio de banda larga, um empecilho à realização disso é a pouca abrangência das tecnologias utilizadas com esse intuito até agora, seja por questões técnicas, seja por questões estruturais.

Uma solução encontrada para este problema foi o aproveitamento de uma rede de caráter universal, a rede elétrica, que, com uma malha já instalada, pode ser utilizada como meio de transmissão de informações. Este é um dos motivos que levou à escolha da tecnologia PLC (Power Line Communications) como tema para este trabalho.

1.3 METODOLOGIA

Em relação aos procedimentos técnicos adotados, o presente trabalho configura-se como estudo de caso, uma vez que envolve a análise da tecnologia PLC de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Sob o ponto de vista de ser capaz de gerar conhecimentos para aplicação prática, também trata-se de uma pesquisa aplicada.

O levantamento bibliográfico realizado e a análise de exemplos abordam problemas similares que evidenciam também que é uma pesquisa exploratória. A pesquisa contemplou as

fases de levantamento e seleção da bibliografia, coleta dos dados, leitura e fichamento das fontes, argumentação e discussão dos resultados.

A abordagem utilizada foi a identificação das principais características teóricas da tecnologia e a subsequente avaliação de casos práticos, como Barreirinhas, Restinga e OPERA, que permitisse a comparação entre os parâmetros estabelecidos na teoria e os alcançados de forma real.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido da seguinte forma: o capítulo 2 aborda características da tecnologia PLC, o capítulo 3 mostra a fase atual do desenvolvimento da tecnologia e, por fim, o capítulo 4 traz uma breve conclusão.

2 COMUNICAÇÃO VIA REDE ELÉTRICA

Uma idéia relativamente recente é a utilização da rede elétrica para transmissão de dados e voz. Como é uma rede de caráter universal, de grande abrangência no mundo, esta idéia se torna bastante viável, por utilizar uma estrutura já existente.

A tecnologia que está em desenvolvimento que visa a transmissão de dados e informações pela rede elétrica é conhecida como Comunicação em Linhas de Potência (Power Line Communication – PLC).

2.1 HISTÓRICO

Inicialmente, a tecnologia PLC começou na década de 1920, quando foram criadas as primeiras propostas de se utilizar portadoras para se realizar comunicação em redes de alta tensão, utilizando modulação analógica. Já nos anos 30, existiam aplicações da tecnologia PLC no controle industrial e telemetria. Foi somente na década de 90 que surgiram os primeiros sistemas que permitiam que fosse feita comunicação de forma bidirecional. Ainda nessa mesma década, criaram o primeiro protótipo de um modem que conseguiu transmitir a taxa de 60bps a distância de até 1 km (SANTOS 2008).

No entanto, apenas recentemente, com os avanços na área de processamento de sinais e transmissão digital, a tecnologia PLC tem sido considerada como uma alternativa viável para comunicações de alta velocidade.

As redes sem fio, assim como a rede PLC, são normalmente utilizadas no ambiente residencial, pois não necessitam de uma nova infra-estrutura para sua implementação, nem a necessidade de proceder a obras em prédios já construídos. Contudo, as redes sem fio requerem um maior cuidado com relação à segurança e ao controle da rede.

Conforme já dito, as redes sem novos fios (Rede PLC) apresentam uma vantagem, uma vez que conseguem utilizar o meio existente (fiação elétrica) para realizar a comunicação entre os diversos dispositivos disponíveis na rede de forma mais segura.

No entanto, a rede elétrica de baixa voltagem de residências sempre foi vista como um meio impróprio para este propósito (transmissão de dados e voz através da tecnologia PLC) devido ao excesso de ruído e às restrições de largura de banda. Mas os recentes avanços nas tecnologias de modulação de sinais e comunicação, e o desenvolvimento do processo de detecção e correção de erros, geraram novas soluções para controle do acesso ao meio e

protocolos da camada física, capazes de suportar redes de comunicação *powerline* com taxas de transmissão de dados comparadas às taxas das redes locais cabeadas (Ethernet).

2.2 TOPOLOGIA

A Figura 1 representa uma topologia de rede PLC dividida em três níveis:

- Rede de distribuição;
- Rede de transporte;
- Rede de acesso;
- Rede de comunicação interna do usuário.

Conforme se verifica na figura 1, o sistema PLC utiliza vários tipos de equipamentos, quais sejam:

Modem PLC – Responsável pela interface entre os equipamentos dos usuários e a rede elétrica de distribuição, transformando o sinal do equipamento terminal de telecomunicações em sinal modulado e transportado sobre a rede elétrica.

Além disso, o modem recebe alimentação e os sinais de telecomunicações pela rede elétrica de distribuição doméstica (in-house), permitindo, também, separar as aplicações de voz e dados, para os respectivos telefones ou computadores pessoais.

Há diversos tipos de modems, como modems para acesso a Internet (Ethernet e/ou USB), modem para Internet e Telefonia (Ethernet e/ou USB + RJ-11) e modems só para voz (RJ-11). Funcionalidades adicionais, tais como Modems Wi-Fi já estão também disponíveis e permitindo a cobertura em áreas abertas.

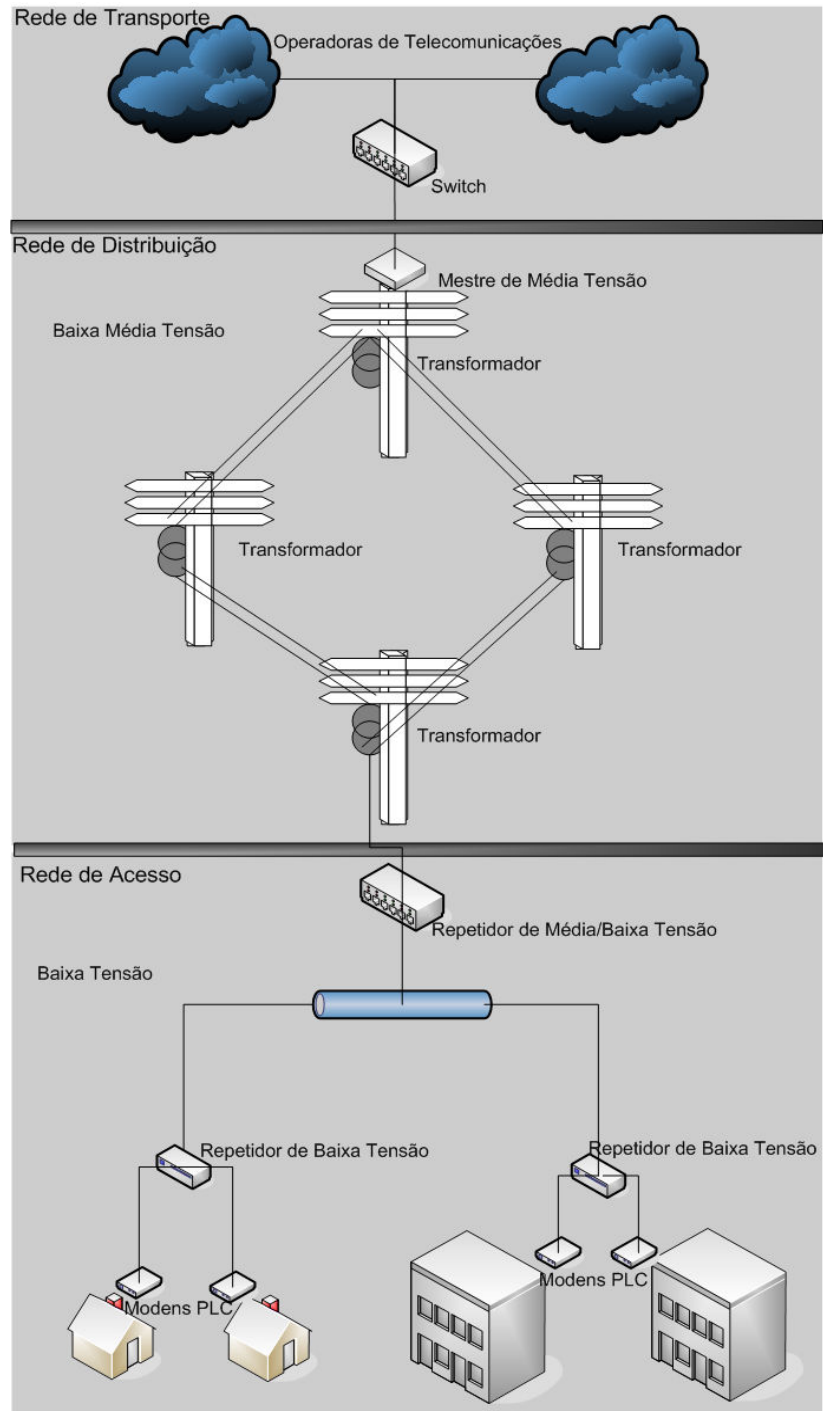


Figura 1: Topologia típica de uma rede PLC.

É válido lembrar que por a tecnologia PLC ainda não estar regulamentada e padronizada, a topologia e os equipamentos utilizados nesta explicação podem variar. A figura 2 mostra um exemplo do equipamento conhecido Modem PLC.

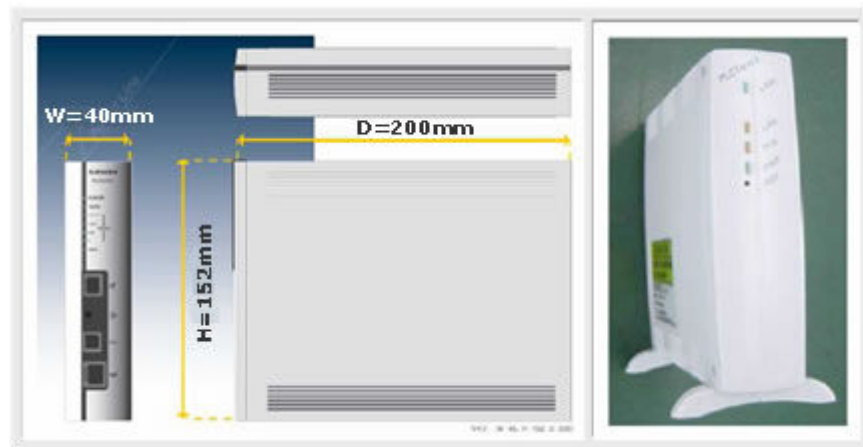


Figura 2: Modem PLC.

Repetidor Mestre de Média Tensão – Responsável por injetar os sinais de dados na rede elétrica de tensão média e interconecta a rede de distribuição com a rede de transporte.



Figura 3: Repetidor Mestre de Média Tensão.

Repetidor Média/Baixa Tensão – É o dispositivo PLC instalado junto aos transformadores MT/BT. Sua função é extrair o sinal proveniente da rede de distribuição PLC (média tensão, fibra óptica, rede a cabo, etc.) e injetá-lo sobre a rede de acesso (baixa tensão).

Sendo assim possibilita o fluxo de dados downstream do Equipamento Transformador até o Modem PLC ou para o Repetidor numa configuração ponto multiponto full-duplex. Os Equipamentos de Transformador são dotados de uma configuração modular flexível com:

- Placas BT, as quais injetam o sinal PLC proveniente da rede de distribuição PLC sobre os cabos de baixa tensão;
- Placas MT que permitem a interconexão destes equipamentos sobre a rede de distribuição de média tensão.



Figura 4: Repetidor Outdoor.

Opcionalmente os Equipamentos de Transformador podem incluir:

- Placas WiFi que permitem o acesso wireless a clientes dentro da área de cobertura do Transformador, sem utilizar a rede de baixa tensão, mas utilizando a rede de média tensão para entrega do sinal;
- Placas de Fast Ethernet ou Gigabit Ethernet para interconexão destes equipamentos através de interfaces RJ-45 ou GbEthernet, o que permite o uso de fibra óptica ou outras tecnologias para a rede de distribuição (xDSL, LMDS, etc).

Repetidor Baixa Tensão – Responsável por recompor os sinais de dados e injetá-los novamente à rede, este equipamento é instalado junto ao medidor residencial.



Figura 5: Repetidor localizado junto ao medidor residencial.

Acopladores – Para se introduzir e adaptar os sinais de dados dos equipamentos PLC para as redes de Baixa e Média tensão são necessários acopladores. Dois principais tipos de acopladores são utilizados:

- Acopladores capacitivos, que injetam os sinais de dados através de contato direto com as linhas de energia elétrica.
- Acopladores indutivos, que injetam os sinais por indução.



Figura 6: Exemplos de acopladores.

Caixa de Distribuição – Normalmente equipada com filtro de surto, promove a interface entre diversos modems PLC e um repetidor BT/BT. É normalmente utilizada para facilitar a distribuição de sinal PLC em painéis elétricos em edifícios.



Figura 7: Caixa de distribuição.

Diversos fabricantes já estão produzindo os equipamentos PLC em escala comercial. A lista que se segue apresenta alguns dos principais fornecedores, tanto na Europa, Estados Unidos e Ásia: Ascom, DS2, Dimat, Eichhoff, Vitran, Mitsubishi, Sumitomo, Amperion, Ebaplc e Intellon.

2.2.1 Rede de Distribuição

As redes distribuição são responsáveis pela interligação entre a Rede de Transporte e a Rede de Acesso usando a estrutura da rede elétrica média-tensão, caracterizada pela tensão nominal maior que 1 kV e menor que 69 kV.

Utiliza o equipamento Mestre de Média Tensão para ligar-se a Rede de Transporte, que por sua vez introduz o sinal de dados a rede elétrica através do mesmo.

Existe ainda a necessidade de instalação de repetidores junto a cada transformador, pois para o sistema PLC, ele representa um circuito aberto, já que são dimensionados para operarem na faixa de frequência de 60 Hz. A rede PLC, por sua vez, vem alcançando frequências muito mais elevadas, chegando a faixas superiores a 30 MHz (MARTINS, 2006).

2.2.2 Rede de Transporte

As redes de transporte envolvem as operadoras de telecomunicações. Estas tratam de fazer a interconexão com a Internet. Comumente, o meio de comunicação utilizado passa a ser a fibra óptica.

2.2.3 Rede de Acesso

A Rede de Acesso, também conhecida como rede de comunicação de última milha (*last-mile*), trabalha em cima da rede de baixa tensão, caracterizada pela tensão nominal igual ou inferior a 1 kV, com conexão direta ao usuário ou à rede interna do usuário.

Como a rede elétrica de baixa tensão, a rede de acesso tem seu início junto ao transformador que interliga a rede de média e baixa tensão, e junto ao transformador há o repetidor de média/baixa tensão, que trata o sinal e injeta-o na rede, sendo sua comunicação direta com o modem PLC ou com o repetidor de baixa tensão caso seu uso seja necessário. Desta forma, o sinal de dados é encaminhado até a rede de comunicação interna do usuário.

2.2.4 Rede de Comunicação Interna do Usuário

A rede do usuário é constituída pela rede de distribuição elétrica nas instalações do usuário e pelos modems PLC para conexão dos equipamentos que serão interligados ao serviço de banda larga. Inúmeros modems podem estar conectados nas tomadas de energia

elétrica disponíveis em uma instalação de usuário. Como alternativa, o usuário pode conectar o seu modem PLC a um *access point* 802.11 e distribuir de forma *wireless* a rede de banda larga. Caso o usuário já disponha de rede cabeada distribuída, este poderá também utilizar esta rede para o acesso da *broadband* nos diversos pontos existentes.

É importante lembrar que há a possibilidade de conexão de aparelhos eletroeletrônicos habilitados para acesso remoto à rede interna. Isto proporciona o acesso e o controle de equipamentos “inteligentes” à distância, o que abre mais motivos para o desenvolvimento da tecnologia PLC.

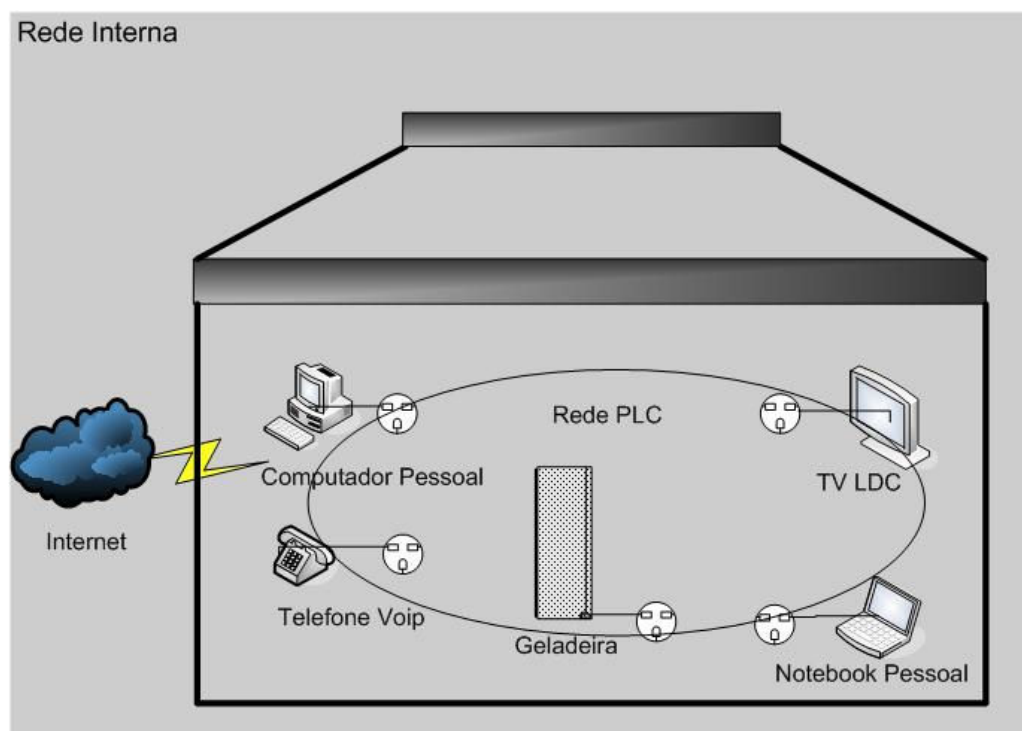


Figura 8: Rede de Comunicação Interna.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CANAL PLC

No desenvolvimento da rede elétrica, não havia a idéia de transmissão de dados, o que significa que ela não foi adequadamente preparada para transferência de informações.

Por não receber o seu devido tratamento, o canal PLC varia de acordo com o tempo e o local, possuindo, assim, uma grande atenuação para transmissão de dados, o que faz com que ocorra várias formas de ruído e percursos não restritos, levando a tecnologia PLC diferenciar-se em níveis de estrutura, topologia, propriedades físicas e numeração das cargas

existentes na rede, tornando a caracterização e a modelagem do canal muito importante ao se trabalhar em um projeto PLC.

Como o meio de propagação do sinal não é de caráter exclusivo, a presença de ruídos e fatores que prejudicam a transmissão é inevitável. Estes ruídos e interferências não previsíveis são causadas pela abertura e fechamento de circuitos e aparelhos eletrodoméstico conectados à rede elétrica (TAVEIRA, 2004).

Outro fator importante é a distorção, que, nesse caso, tem como seu principal motivo as várias reflexões que ocorrem devido ao descasamento de impedância em cada segmento da rede elétrica, ou seja, a variação das características do meio de propagação do sinal. Como exemplo disso, pode-se mencionar a passagem do sinal entre a rede elétrica de média tensão e a de baixa tensão.

Existe, ainda, a possibilidade de atenuação do sinal, devido à distância percorrida pelo mesmo, e a fatores físicos do cabo como exemplo a sua blindagem. Porém, isto pode ser facilmente solucionado com a instalação de repetidores ao longo do percurso da informação, o que se dá a uma distância de a cada 300 m, uma distância significativa se comparada ao cabo mais utilizado em redes, o Ethernet 10Base-T, que possui 100 m como limite para segmentação máxima (TEXEIRA, 2005).

2.4 SUB-CAMADA DE ACESSO AO MEIO

2.4.1 MAC (Media Access Control)

O controle de múltiplo acesso, o compartilhamento de recursos e o controle de tráfego são as principais funções da subcamada MAC (TANEMBAUM, 2003)

O sistema de controle de acesso que é utilizado com a tecnologia PLC é o acesso múltiplo por divisão de tempo (*Time Division Multiple Access* – TDMA) em conjunto com a multiplexação por divisão de frequência ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM), esquema conhecido como OFDM/TDMA.

O esquema para compartilhamento de recursos normalmente usado em sistemas PLC é o acesso múltiplo sensível à portadora evitando colisões (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* – CSMA/CA), normalmente usadas em sistemas *wireless* (HRASNICA et al, 2004).

Já para o controle de tráfego, é utilizado o mecanismo de controle de admissão de conexão (Connection Admission Control – CAC).

Estes controles da subcamada MAC serão discutidos a seguir.

2.4.2 OFDM/TDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing/Time Division Multiple Access*)

A técnica de controle de acesso TDMA sobre o sistema de transmissão OFDM (descrito no item 6.1), tem se mostrado apropriada para o sistema de banda larga sobre PLC, devido à sua robustez a meios de grande nocividade para a comunicação. Como a tecnologia PLC ainda não está regulamentada e padronizada, a técnica OFDM/TDMA não é a única utilizada nas comunicações PLC, mas é a que apresenta os melhores resultados, devido a fácil adaptação dessas técnicas (HRASNICA et al, 2004).

A técnica OFDM/TDMA consiste na alocação de *slots* de tempo para utilizar o sistema de transmissão OFDM, como pode ser observado na figura 9.

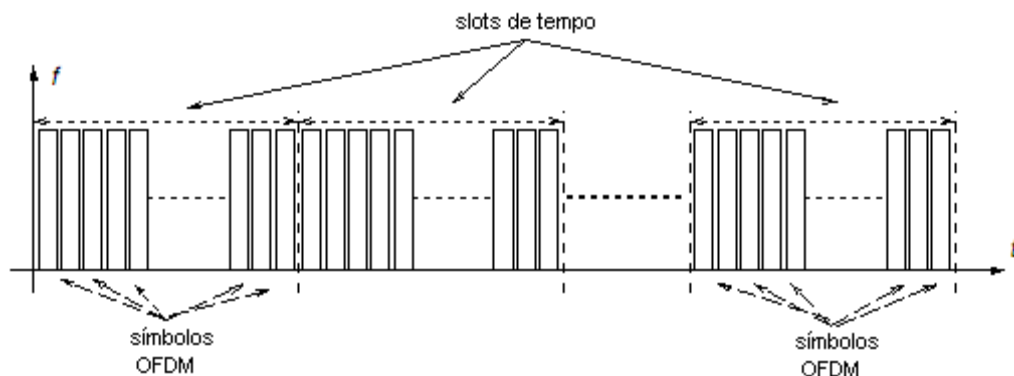


Figura 9: OFDM sobre TDMA.
Fonte: (HRASNICA et al, 2004).

2.4.3 CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance*)

O CSMA/CA faz com que a estação que deseja transmitir alguma informação para outra, deve primeiramente escutar o meio. Caso este esteja ocioso, ela emite um sinal informando o desejo de “conversa” juntamente com o tempo em que a efetuará. Caso a estação receptora esteja disponível, esta deve informar que aceita a requisição e, só então, os dados serão transmitidos (TANENBAUM, 2003).

2.4.4 CAC (*Connection Admission Control*)

Este mecanismo limita o número de conexões na rede de acordo com os requisitos da qualidade de serviço (Quality of Service – QoS), através de uma “política de admissão”. Essa interferência no estabelecimento de conexões é necessária devido à limitação física do canal. Sem este controle, principalmente em meios bastante ruidosos, como é o canal PLC, a garantia de QoS seria inviável (HRASNICA et al, 2004).

2.5 MODULAÇÃO MULTIPORTADORA

Ao se transmitir dados por um canal PLC pode ocorrer a chamada interferência intersimbólica (Intersymbol-Interference – ISI), que são distorções lineares nos sinais provocando a superposição dos mesmos. Assim, mecanismos que tratam deste tipo de interferência devem ser usados.

Uma alternativa encontrada foi a técnica de multiplexação dos sinais dividindo-os em subportadoras, possibilitando que vários sinais utilizem o mesmo meio ao mesmo tempo, sendo conhecida como modulação multiportadora (MultiCarrier Modulation – MCM). Existem várias formas de se utilizar esta técnica, seja por divisão de frequência, tempo ou por códigos (MARTINS, 2006).

A técnica utilizada com a tecnologia PLC é a multiplexação por divisão de frequência (Frequency Division Multiplexing – FDM), que exige um meio com grande largura de banda, o que é perfeitamente possível com o canal PLC.

Uma melhoria da técnica FDM compreende a utilização de subportadoras ortogonais entre si, técnica conhecida como multiplexação por divisão de frequência ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) (MARTINS, 2006), que será comentada a seguir.

2.5.1 Multiplexação OFDM

Devido às interferências, ruídos e outros fatores presentes no meio PLC, é necessária uma técnica de multiplexação robusta, eficiente e capaz de transmitir altas taxas de dados. Sendo assim, para a tecnologia PLC foi implementada a técnica OFDM.

A OFDM é uma forma especial de MCM (MultiCarrier Modulation) com subportadoras densamente espaçadas e com sobreposição de espectro, o que pode ser observado na figura 4 (HRASNICA et al, 2004).

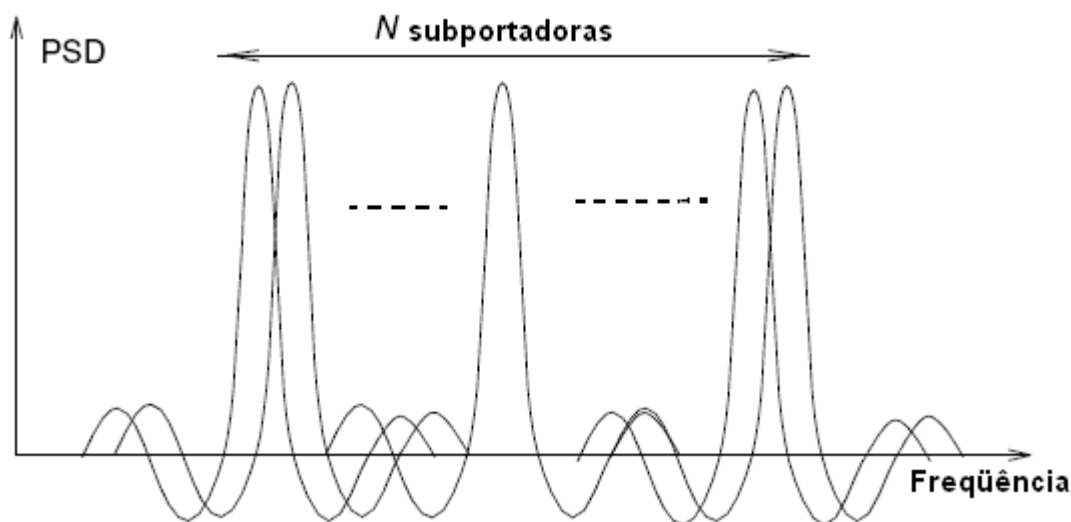


Figura 10: Ondas de sinais na multiplexação OFDM.
Fonte: (HRASNICA et al, 2004).

Esta é uma técnica de implementação digital do sistema MCM, sendo que as ondas portadoras são ortogonais entre si. Isto permite que a recepção de sinais OFDM seja livre de interferências.

A multiplexação OFDM, além de ser utilizada em sistema PLC, pode ser encontrada também em sistemas de comunicação sem fio e radiodifusão, meios também nocivos e que apresentam propagação por multipercurso.

A OFDM reduz a complexidade na equalização do canal e caracteriza-se por ser um conjunto de múltiplos subcanais com variações leves de atenuações. Esta técnica imuniza o sistema PLC a interferências ISI em símbolos distintos utilizando o tratamento mencionado no item 6.1.2 deste trabalho, além de ter um ganho espectral de até 50% em relação à multiplexação FDM (MARTINS, 2006).

2.5.2 Geração de sinais OFDM

A geração de sinais OFDM é baseada em dois princípios (HRASNICA et al, 2004):

- O primeiro desses princípios é que o canal de dados é dividido em subcanais, onde cada um é modulado em diferentes portadoras, chamadas de subportadoras;

- Já o outro princípio é que depois de modulados, estes sinais são multiplexados em frequências diferentes e independentes, o que possibilita a ortogonalidade entre as subportadoras, e só então são transmitidos.

2.5.3 Desafios da multiplexação OFDM

Caso a duração do símbolo seja menor ou igual ao tempo máximo de atraso do sinal, pode ocorrer a sobreposição de símbolos, o que consiste na interferência ISI. Já os sinais transmitidos em OFDM têm o tempo de duração relativamente longo e utilizam pequena largura de banda, reduzindo sensivelmente a possibilidade deste tipo de interferência. Para eliminar completamente a interferência ISI, é especificado um tempo com duração maior que o tempo do impulso de resposta do canal (HRASNICA et al, 2004).

Os sistemas OFDM são desenvolvidos para que as subportadoras estejam em frequência estreita o bastante para que seu enfraquecimento seja de forma plana, permitindo que as ondas permaneçam ortogonais entre si quando transmitidas por um canal seletivo em frequência.

Apesar da robustez da técnica OFDM quanto à seletividade de frequência, uma variação aleatória no tempo de caractere no canal reduziria o desempenho do sistema. Estas variações são conhecidas por deteriorarem a ortogonalidade das subportadoras, causando interferência entre as subportadoras vizinhas, o que é conhecida como interferência entre portadoras (Inter- Carrier Interference – ICI) (HRASNICA et al, 2004).

Para que a interferência ICI seja eliminada, é inserido um tempo que é ciclicamente alterado. Percebe-se que a alteração linear no tempo é um tratamento apropriado para interferências do tipo ISI, mas não para o tipo ICI, o qual deve ser tratado com variações cíclicas no tempo em um canal linearmente dispersivo, sendo que este também elimina a interferência ISI. Por este motivo, é o tratamento que a técnica OFDM utiliza (HRASNICA et al, 2004).

2.5.4 Detecção e Correção de Erros

O PLC utiliza codificação para correção de erro, FEC (Forward Error Correction). Isto permite a correção de erros de transmissão no lado da recepção. Um código de relação 1:2 é

usado, implicando que os dados transmitidos estão duplicados, isto é, para cada bit de dados o sistema do PLC transmite dois bits no canal correspondente.

A experiência tem mostrado que o canal do PLC é freqüentemente de excelente qualidade para as estações próximas (aproximadamente 1Km dependendo da qualidade das instalações elétricas e do equipamento PLC empregado) do Concentrador Mestre, neste caso não há necessidade de usar o FEC, conseqüentemente a capacidade do canal é duplicada. Os equipamentos PLC também monitoram automaticamente a qualidade do canal, de modo que se ela for alta o suficiente o FEC é desativado e se a qualidade cair o FEC é ativado. Além dessas qualidades pode-se implementar diversas outras aplicações de detecção e prevenção de intrusões não autorizadas, atualmente usadas nas tecnologias em uso.

2.5.5 Segurança e Privacidade

Uma das características das redes através da instalação eléctrica é compartilhamento do meio servidos pelo mesmo transformador, sendo assim possível escutar transmissões alheias.

Então em vez de usar filtros “passa-baixo” que aumentam os custos, o PLC utiliza o padrão de encriptação DES e 3DES (Data Encryption Standard) de 168 bits, de forma a criar redes lógicas formadas por diversos dispositivos que compartilham a mesma chave de encriptação da rede.

Os dispositivos armazenam uma chave padrão utilizados para obtenção de novas chaves e as chaves de encriptação da rede, pois cada dispositivo pode fazer parte de mais do que uma rede lógica.

Apenas os pacotes de gestão da subcamada MAC são enviados sem encriptação, para poderem ser recebidos por todos os dispositivos.

3 USO DA TECNOLOGIA PLC

Mesmo ainda em fase de desenvolvimento, a tecnologia PLC já apresenta resultados satisfatórios em pesquisas realizadas no mundo, inclusive no Brasil.

Esta tecnologia está se tornando uma alternativa cada vez mais competitiva com as outras. Seu objetivo é a redução de despesas com investimentos e a facilidade de implementação (LIMA, 2006).

Para usuários finais, os resultados da tecnologia PLC têm sido satisfatórios, tanto pela qualidade do serviço, podendo alcançar taxas de transferência superiores a 200 Mbps, quanto pela facilidade de uso e de instalação, pois as tomadas elétricas podem facilmente se tornar pontos de acesso à Internet em banda larga.

Para as empresas fornecedoras, a tecnologia PLC possibilita a prestação de uma nova rede de serviços inteligentes, permitindo o controle e gerência remota da qualidade de serviços prestados, supervisão e diagnóstico em tempo real de transformadores da rede elétrica, leitura automática dos medidores de consumo de energia e monitoração remota do fornecimento de energia elétrica.

Com o surgimento de tantas vantagens, a tecnologia PLC tem se desenvolvido mais significativamente nos últimos anos. Este capítulo destina-se acompanhar a sua fase atual de desenvolvimento.

3.1 PLC NO BRASIL

O Brasil assumiu posição notável no estudo e na pesquisa sobre a tecnologia PLC. Empresas prestadoras de serviços relacionados à energia elétrica lideram projetos piloto em alguns estados do país.

Devido à grande abrangência da rede elétrica no Brasil, a PLC é uma tecnologia bastante adequada e promissora para o país.

Existem vários projetos e pesquisas no Brasil para o estudo da implementação da tecnologia PLC. Este trabalho enfatiza dois principais projetos, sendo eles conhecidos como Projeto Barreirinhas - Ilha Digital, implantado no município de Barreirinhas no interior do Maranhão e Projeto Piloto PLC Restinga, em Porto Alegre no Rio Grande do Sul.

3.1.1 Projeto Barreirinhas - Ilha Digital

O projeto foi realizado no município de Barreirinhas, Maranhão, pela Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações (APTEL) em parceria com as empresas CEMAR, COPEL, EBA PLC, Eletropaulo, FITEC, Lucent Technologies, Positivo Informática, Samurai e SEBRAE (FORUM PLC, 2004).

O projeto teve início em 10 de novembro de 2004 e término em 14 de fevereiro de 2005 e seus objetivos priorizaram a inclusão digital.

3.1.2 Objetivos do Projeto Barreirinhas

O projeto pesquisou a tecnologia PLC, principalmente, como uma forma de amenizar ou eliminar a exclusão digital das comunidades carentes, devido à grande abrangência do meio de acesso físico dessa tecnologia, além do estudo de suas características (FORUM PLC, 2004).

Alguns objetivos do Projeto Barreirinhas:

- Prover acesso à rede mundial de computadores priorizando serviços à comunidade, assim como as áreas de saúde, educação e iniciativas públicas de apoio ao desenvolvimento do município e acesso público à Internet, utilizando a tecnologia PLC;
- Verificar a utilização da tecnologia PLC em relação à supervisão e ao controle da rede de distribuição de energia elétrica, gerindo as perdas e o fornecimento de eletricidade e iluminação pública;
- Após o encerramento, estudar os impactos sobre a população atingida pelo projeto piloto e elaborar um plano municipal para a implantação definitiva do sistema PLC.

3.1.3 Resultados alcançados pelo Projeto

O objetivo de levar acesso à Internet para a comunidade de Barreirinhas foi obtido com sucesso, indicando que é viável a utilização da tecnologia PLC como um importante meio para a disseminação da transmissão de informações em comunidades carentes (LEITE, 2006).

O projeto teve grande impacto social no município com acesso gratuito à Internet, beneficiando diretamente 1500 pessoas incluindo alunos, professores, artesãos e a comunidade em geral através do acesso orientado e gratuito à internet.

O custo cada vez mais baixo, a rapidez e a facilidade para a implantação da infraestrutura da tecnologia PLC, e ainda a possibilidade da integração com outras tecnologias como as redes *wireless*, tornará bastante atraente como uma solução para exclusão digital em regiões de difícil acesso que estão ligadas à malha de distribuição elétrica ou próxima a ela.

No decorrer deste projeto, mesmo que os equipamentos e enlaces permitissem taxas de transmissão de até 40 Mbps, só foi possível o alcance de taxas por volta de 150 kbps, isso devido principalmente à limitação do *backbone* de dados disponibilizado por satélite pelo programa governamental Governo Eletrônico - Serviços de Atendimento ao Cidadão (GESAC) que busca a inclusão digital em todos os estados brasileiros. A distância máxima entre o transformador até o usuário final alcançada pelo projeto foi de 150 a 250 m (LEITE, 2006).

3.2 PROJETO PILOTO PLC RESTINGA

O bairro Restinga da capital Porto Alegre, Rio Grande do Sul, dista-se 30 km do centro da cidade e foi escolhido para implantação do Projeto Piloto PLC Restinga. Apesar de se localizar na capital, trata-se de um bairro carente e isolado.

O projeto desenvolvido em parceria entre a Prefeitura do Município de Porto Alegre, CEEE, CETA, Procempa e UFRGS, atinge uma extensão de 3,5 Km sobre a rede de distribuição, tornando-se o maior em extensão do país, sendo que a cada 1200 m é instalado um repetidor de sinal. Sua inauguração ocorreu em dezembro de 2006 e término previsto para outubro de 2008 (ÁVILA; PEREIRA, 2007).

Com objetivos voltados para a inclusão digital, o projeto interliga a escola municipal, o centro administrativo do bairro, a unidade operacional do SENAI e a unidade de saúde municipal.

A velocidade de transmissão alcançada pelo projeto piloto foi de aproximadamente 45 Mbps, sendo que o mesmo foi desenvolvido para alcançar esta taxa de transmissão, o que só foi possível devido à interligação com fibra óptica na subestação da companhia fornecedora de energia elétrica à região (ÁVILA; PEREIRA, 2007).

Este projeto está em desenvolvimento e seus resultados ainda não estão sendo muito divulgados, mas já é possível observar que a implantação da tecnologia PLC como meio de interligação dos pontos descritos anteriormente à Internet em banda larga obteve sucesso (ÁVILA; PEREIRA, 2007).

3.3 A ANEEL E A APROVAÇÃO DO USO DO PLC NO BRASIL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou no dia 25 de agosto de 2009 o regulamento que permite a utilização da rede de energia elétrica para a transmissão de Internet em banda larga, conhecido como PLC (Power Line Communications), em que as tomadas residenciais passam a ser pontos de rede, quando conectadas a um modem (ANNEEL, 2009).

A ANEEL estabeleceu que o uso desta tecnologia não poderá comprometer a qualidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores e, se houver necessidade de investimento na rede, o custo será de responsabilidade das concessionárias de telecomunicações. As redes também poderão ser utilizadas para levar televisão por assinatura aos consumidores (ANNEEL, 2009).

Segundo o regulamento aprovado, as concessionárias de energia elétrica deverão criar uma empresa subsidiária para ofertar o serviço. A agência também prevê que as receitas obtidas pelas concessionárias de energia com o aluguel dos fios para as empresas de Internet serão revertidas para a redução de tarifas de eletricidade.

A ANEEL garante que o emprego da tecnologia vai permitir novos usos para as redes de distribuição de energia elétrica, sem que haja a necessidade de expansão ou adequação da infra-estrutura já existente. Segundo a agência, a economia deve representar uma redução de custos para os consumidores (ANNEEL, 2009).

3.4 PLC NO MUNDO

A tecnologia PLC tem sua origem histórica na Inglaterra,. Atualmente, a Europa tem demonstrado grande interesse sobre a PLC, tanto que a União Européia assumiu a frente em pesquisa e desenvolvimento da padronização para a tecnologia com a Aliança Européia de Pesquisa Aberta sobre PLC (Open PLC European Research Alliance – OPERA).

Outros projetos e pesquisas foram desenvolvidos em outras partes do mundo, destacando-se também os Estados Unidos que utiliza a sigla BPL (Broadband over Power Lines) ao invés de PLC, mas que não será tratado neste trabalho, preferindo, então, se ater ao projeto OPERA, devido a este estudar a tecnologia de forma aberta.

3.4.1 O Projeto OPERA

Este projeto de desenvolvimento e pesquisa à PLC participa do grupo de trabalho IEEE P1901. Este visa desenvolver um padrão não proprietário e internacional para PLC. O projeto foi dividido em duas fases, sendo que a primeira teve início em janeiro de 2004 e fim em dezembro de 2005, e a segunda fase teve iniciou em janeiro de 2007 e fim em dezembro de 2008.

O Projeto OPERA é composto por um consórcio entre empresas e universidades, principalmente européias, que buscam padronizar e elevar a qualidade da tecnologia PLC. O Brasil, através da Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações (APTEL), juntamente com Israel são os únicos países não europeus a participarem deste projeto (LIMA, 2006).

3.4.2 Objetivos do Projeto OPERA

A tecnologia PLC ainda não foi o bastante desenvolvida para explorar todas as possibilidades que os seus serviços são capazes de atingir. Em razão disso, o principal objetivo desse Projeto é realizar as devidas pesquisas para aperfeiçoar e disseminar a tecnologia em escala européia, com o intuito de superar os empecilhos enfrentados por ela para que a população possa gozar de todas as vantagens oferecidas por este sistema (OPERA, 2008).

Para atingir as finalidades primordiais do projeto, foram estabelecidos alguns objetivos técnicos e científicos, que estão mencionados a seguir:

- Melhorar os sistemas PLC tanto em baixa quanto em média tensão, objetivando o desenvolvimento da largura de banda, a facilidade de uso, compatibilidade eletromagnética, gestão das redes e modelagem do canal, devendo-se condicionar a rede de transmissão e aperfeiçoar os equipamentos PLC;

- Desenvolver soluções otimizadas para a interligação entre as redes de acesso e redes de distribuição, visando o alcance dos usuários finais independente de onde estejam;
- Desenvolver produtos sobre a tecnologia PLC com baixo custo para aquisição;
- Padronização dos sistemas PLC;
- Definição de planos de negócio e procedimentos para manutenção e supervisão de serviços, adicionando a pesquisa de mercado para conhecimento das necessidades dos usuários finais;
- Disseminar os resultados alcançados pelo Projeto e seus respectivos direitos de propriedade.

A seguir será demonstrado, por meio de uma tabela, as metas pretendidas pelo Projeto OPERA comparando-as com o atual desenvolvimento da tecnologia PLC.

Conceito	Atualmente	Metas do Projeto OPERA
Velocidade	Até 45 Mbps	Até 200 Mbps
Padrões	Soluções Proprietárias	Padrão Plug & Play único
Instalação em baixa voltagem	Cara e complexa	Fácil e barata
Cobertura de usuários finais	80 % a 90 %	100 %
Implantação massiva	Não preparado	Preparado
Padrões e conformidade	Nível nacional	Nível europeu
Serviços audiovisuais sobre PLC	Inicialmente testado	Pronto para venda
Terminais	Não amigável ao usuário	Amigável ao usuário
Compatibilidade com rede interna	Não garantida	Garantida
Grau de integração com backbone	Ineficiente	Eficiente

Tabela 1: O estado atual da tecnologia PLC e metas pretendidas pelo projeto.
Fonte: (OPERA, 2008).

Tais metas são estratégicas para o desenvolvimento de produtos comercializáveis, e o fornecimento de interoperabilidade entre equipamentos de diferentes empresas e simplificação para usuários finais.

Em relação à organização, estabelecimento de prazos e metas, o Projeto OPERA é compreendido em duas fases, sendo elas descritas a seguir.

3.4.3 Primeira fase do Projeto OPERA

A primeira fase do Projeto foi finalizada em dezembro de 2005 e demonstrou que é possível a utilização da tecnologia PLC como acesso em banda larga. Nesta fase, iniciaram-se as atividades de padronização, assim como o desenvolvimento de protótipos e testes referentes à tecnologia. Esta parte do Projeto foi composta por 35 organizações trabalhando sempre em conjunto (OPERA, 2008).

Várias considerações e especificações quanto ao desempenho da tecnologia foram desenvolvidas nesta primeira fase. As características técnicas pesquisadas envolvem a camada Física e a subcamada MAC, alcançando os seguintes resultados (OPERA, 2008):

- Velocidade de 200 Mbps com modulação OFDM em mais de 1000 portadoras;
- Seletividade de frequência entre 10 e 30 MHz, sendo que a alocação espectral é totalmente programável nos valores de 1 a 34 MHz;
- Até 10 bits por portadora, com a modulação adaptando-se de acordo com a qualidade do canal;
- A flexibilidade da densidade do espectro de potência (Power Spectral Density – PSD) permite que a banda de frequência alcance uma profundidade de pelo menos 30 dB, a modificação da PSD pode ser feita dinamicamente ou remotamente, não necessitando de intervenção física;
- Foi desenvolvido um modo de transmissão especialmente robusto para a Camada Física que pode ser usado em canais de grande ruído e dificuldade para transferência de dados, ele usa uma combinação de baixa taxa de bits, diversidade e correção de erros para manter a qualidade na transmissão;
- A tecnologia possui independência para permitir a coexistência dela com outros sistemas, mesmo que estes estejam em desenvolvimento, ou seja, futuramente desenvolvidos;
- A codificação de dados também é usada;
- A criptografia consiste na combinação de DES/3DES utilizando chave de 168 bits;
- Suporte para técnicas de tratamento para atenuação de ruído impulsivo.

As características citadas acima são de propriedades da camada Físicas, as que serão apresentadas a seguir são relacionadas à subcamada MAC (OPERA, 2008):

- O canal de acesso utiliza acesso múltiplo por divisão de tempo (Time Division Multiple Access – TDMA) com protocolos atribuídos por demanda, estes alocam largura de banda de acordo com seus requisitos de qualidade de serviço (Quality of Service – QoS);

- A comunicação bidirecional é assegurada utilizando-se uma duplexação por divisão de tempo (Time Division Duplexing – TDD);
- A tecnologia permite um número ilimitado de repetidores por divisão de tempo e frequência;
- QoS com oito níveis de prioridade;
- Utiliza mecanismos de reconhecimento de erro para retransmitir os dados (Automatic Repeat-reQuest – ARQ);
- Possibilidade para limitação de largura de banda;
- Mecanismo de polling para gerenciamento da atividade dos nós da rede;
- Gestão automática de cruzamento de conversas entre sistemas não sincronizados;
- Algoritmo de repetição otimizado e seleção automática de melhor rota para alcançar o backbone;

A primeira fase teve um investimento de 20.180.473,51€ dos quais 9 milhões financiados pela União Européia e todas as expectativas foram alcançadas com sucesso.

3.4.4 Segunda fase do Projeto OPERA

A segunda fase do Projeto OPERA iniciou-se em 1º de janeiro de 2007 e teve término em dezembro de 2008. Nesta fase, foram realizadas pesquisas adicionais e disseminação da tecnologia, em escala européia, junto com sua padronização. Os gastos para esta fase foram de aproximadamente 9.056.197,60€ (OPERA, 2008).

Nesta segunda fase houve a participação de 26 instituições. O Brasil participou através da Companhia Energética de Goiás e as outras 25 eram instituições européias. Os objetivos para esta fase foram derivados da primeira, mas enfatizaram em pesquisas adicionais, disseminação em escala européia e colaboração com o processo de padronização da tecnologia PLC (OPERA, 2008).

Foram desenvolvidos novos métodos, algoritmos e equipamentos para a tecnologia. Estes passos complementaram as pesquisas e os desenvolvimentos realizados na primeira fase do Projeto OPERA, tais como (OPERA, 2008):

- Na camada Física, a pesquisa direcionou-se para o aperfeiçoamento da distância de cobertura e taxa de transferência de dados;
- Na subcamada MAC, foram pesquisadas melhorias para o relacionamento com redes de grande porte e flexibilidade em função de necessidades previstas futuramente;

• Fortalecimento no relacionamento com organizações de padronização da tecnologia, principalmente o grupo de trabalho IEEE P1901, no qual o Projeto OPERA participa.

Comparando os objetivos das duas fases do Projeto OPERA, têm-se a tabela 2:

Conceito	OPERA Fase 1	OPERA Fase 2
Acopladores/filtros e condicionamento de dispositivos	Protótipos testados e Certificados	Acoplamento e condicionamento visando novas aplicações e conceitos de desenvolvimento
Modelação do canal PLC	Simulação do canal PLC	Emulação do canal PLC
Interação EMC no canal PLC	Catálogo das medições EMC e conclusões	Verificação de diretrizes de mecanismos de atenuação EMC
Ferramenta de implantação PLC	-	Desenvolvimento de um teste para ligações PLC
Interligação da PLC com a rede do backbone	Otimizada	Otimização atualizada para tecnologias emergentes
Integração entre a rede de acesso e rede interna	Especificações de coexistência da PLC com a rede interna	Implementação de padrão para coexistência da PLC com a rede interna e integração da PLC com outras tecnologias de redes de acesso e internas
Atuação na instalação em baixa e média voltagem	Procedimentos	Otimização
Sistema PLC e terminais de usuários	Protótipos testados	Equipamento pronto para manufaturar Chips integrados com diversas aplicações
Serviços sobre PLC	White papers	Serviços testados
Conformidade e padronização a EMC	Padronizado em nível europeu	Regulamentado em nível europeu
Padronização PLC	Especificação OPERA versão 1	Regulamentação OPERA abrangendo a Europa

Tabela 2: Comparação entre as fases 1 e 2 do Projeto OPERA.
Fonte: (OPERA, 2008).

3.4.5 Resultado Final do Projeto OPERA

Os resultados do projeto OPERA são um reflexo do enorme trabalho realizado por todos os sócios do consórcio, incluindo o esforço para coordenar com sucesso a atividade de todo o projeto. O Projeto OPERA conseguiu abordar todos os aspectos relevantes da tecnologia PLC, tornando-se durante a vida do projeto, um reconhecimento mundial aos interessados da tecnologia. Em uma forma sintetizada, foram alcançando os seguintes resultados do projeto, como segue:

- **Novos Equipamentos e Novos Protótipos:** O OPERA realizou as atividades relacionadas aos aspectos físicos do meio da transmissão e dos componentes periféricos necessários para implantar uma rede PLC. Os resultados apresentados no projeto são muito úteis para a comunidade PLC e incentivará o mercado a procurar outras soluções que permitam resolver como implantar redes PLC em qualquer rede elétrica do mundo.
- **Melhoramentos da Tecnologia:** Nos termos de melhorias da tecnologia, as novas características do OPERA desenvolveram um aumento significativo em seu projeto com o desempenho total da tecnologia PLC como uma solução de acesso. Em particular com a otimização do algoritmo de BPC (*Bits Per Carrier*), a cobertura e a taxa de *Bits* foram melhoradas significativamente, assim, foi possível melhorar a prestação de serviços em potencial aos usuários finais. Novas funcionalidades também foram implementadas para atender linhas aéreas e o ambiente *In-Building* para ampliar o campo da aplicação da tecnologia. Finalmente, novas funcionalidades têm sido implementadas para impulsionar as aplicações mais poderosas como *IPTV*, *VoIP* e transmissão de dados. A tecnologia, portanto, está agora mais forte, mais segura e mais completa para uma aplicação mais eficiente.
- **Novos Serviços:** O OPERA também tratou os serviços sobre redes da linha elétrica (redes PLC). Os serviços mencionados são, por exemplo, acesso de Internet, telefonia (*VoIP*), distribuição de sinal vídeo (*IPTV*), gerência de energia, monitoração de redes inteligentes, controle e outros.
- **Implementações de campo:** O OPERA fez com sucesso a execução de 3 principais implementações de campo (LINZ, LISBOA, MADRID), junto com um teste de campo no BRASIL. As implementações de laboratório, utilizando a tecnologia OPERA (fase 2), foram concluídas igualmente com sucesso. Apesar de todas as diferenças entre os experimentos de campo (topologias, densidade, infra-estrutura, etc.), os resultados alcançados demonstram os valores do desempenho, indicando que a tecnologia OPERA (fase 2) prova a adaptar-se bem a estes cenário de aplicação. Usando os dispositivos, os métodos de acoplamento, as

alternativas de planejamento descrito no projeto OPERA (fase 2), poderia dizer que a tecnologia pode ser implantado em massa a fim de fazer a rede PLC um negócio em toda a rede elétrica com uma porcentagem elevada de sucesso.

- **Padronização:** O projeto OPERA foi amplamente envolvido no processo de padronização através das organizações de IEEE e IEC. Esse projeto contribuiu para dar impulsos fundamentais para a padronização de acesso dentro do IEEE P1901 Grupo de Trabalho encarregado de desenvolver o primeiro IEEE BPL Protocolo de comunicação padrão. Estes impulsos estão integrados na linha de base e será implementado na primeira versão do IEEE P1901 Standard.

- **Resultados de negócio:** O OPERA foi também focado na criação de conhecimentos em processos de negócios e oportunidades. A ferramenta de plano de negócios derivado OPERA (fase 1) foi reforçada com outras considerações relativas aos pedidos de serviços públicos. Os custos teóricos para implementações de diferentes PLC foram avaliados e definidos na base de uma abordagem de cima para baixo. Relativamente aos custos das metas, requisitos e as experiências retiradas das experimentações de campo, os dados preliminares consideráveis foram realizados. A conclusão total resultante é que a tecnologia PLC é uma verdadeira alternativa a outras tecnologias de banda larga. Quando a fabricação de equipamentos PLC alcançar a produção em massa, como resultado disso, o preço dos aparelhos diminuirá e as redes PLC poderão oferecer uma opção ainda mais econômica e eficaz para uma série de banda larga e serviços de rede elétrica.

4 CONCLUSÃO

A comunicação através da rede elétrica, conhecida como PLC, foi o objeto de estudo deste trabalho. Assim sendo, foram analisadas características referentes à tecnologia, tais como suas vantagens e desvantagens.

Pôde-se observar que a tecnologia PLC é uma importante ferramenta para combater a exclusão digital, devido à presença da malha de rede elétrica em quase todo o território nacional e na maior parte do mundo. Esta tecnologia pode ainda integrar-se a outras, como exemplo, as redes *wireless*. Essa característica faz com que áreas de difícil acesso possam ser alcançadas e servidas com acesso à banda larga.

Contudo, a tecnologia PLC encontra-se em fase de regulamentação e padronização (tendo sido recentemente regulamentada para o uso no Brasil pela ANEEL), o que foi observado neste trabalho com projetos de pesquisas à tecnologia no Brasil e no mundo.

Portanto, a tecnologia PLC promete uma conexão à banda larga de forma fácil, rápida, de baixo custo e alta velocidade de transmissão, mas necessita de padronização e regulamentação mundial e seu canal deve ser cuidadosamente estudado antes da implantação da tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPERION, Disponível em: <<http://www.amperion.com/products.asp/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 676, 19 dez. 2003. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 375, de 25 de agosto de 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 28 ago. 2009.

ASCOM, Disponível em: <<http://www.ascom.com/plc>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

ÁVILA, Flavio Rocha de; PEREIRA, Carlos Eduardo. Tecnologia PLC - A nova era da comunicação de dados em banda larga, jul. 2007. Disponível em: <<http://noriegec.cpgec.ufrgs.br/tic2007/artigos/A1126.pdf>>. Acesso em 15 jul. 2009.

DIMAT, Disponível em: <<http://www.dimat.com/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

DS2, Disponível em: <<http://www.ds2.es/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

EBAPLC, Disponível em: <http://www.ebapl.com/en/index_flash.html/>. Acesso em: 04 dez. 2009.

EICHHOFF, Disponível em: <<http://www.eichhoff.de/english/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

FÓRUM PLC, Projeto Barreirinhas – Ilha Digital, 12 nov. 2004. Disponível em: <<http://barreirinhas.samurai.com.br/>>. Acesso em: 15 set. 2009.

HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. Broadband Powerline Communications Networks. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

INTELLON, Disponível em: <<http://www.intellon.com/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

LEITE, Leonardo Henrique de Melo. Utilização de tecnologia PLC para inclusão digital, jul. 2006. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_474.html>. Acesso em: 09 out. 2009.

LIMA, C. A. F. et al. A Tecnologia PLC: Oportunidade para os setores de Telecomunicações e Energia Elétrica. Teleco, 27 mar. 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialkbns/default.asp>>. Acesso em: 05 ago. 2009.

MARTINS, Filadelfo Dias. Proposta de Arquitetura e Modelo de Negócios em Sistemas PLC. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de

Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MITSUBISHI, Disponível em: <<http://global.mitsubishielectric.com/bu/plc/index.html/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

OPERA, Open PLC European Research Alliance. Disponível em: <<http://www.istopera.org/>>. Acesso em: 07 set. 2009.

SANTOS, Túlio Ligneul - Redes de Computadores II. GTA/UFRJ: Grupo de Teleinformática e Automação/UFRJ, maio 2008. Disponível em: http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/index.htm Acesso em: ago out. 2009.

SUMITOMO, Disponível em: <http://www.sei.co.jp/plc_e/index.html/>. Acesso em: 04 dez. 2009.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadores. 4. ed. Editora Campus, 2003.

TAVEIRA, Danilo M. Redes PLC: Redes de Computadores I. GTA/UFRJ: Grupo de Teleinformática e Automação/Universidade Federal do Rio de Janeiro, maio 2004. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/04_1/redesplc>. Acesso em: 06 out. 2009.

TEIXEIRA, Edson R. D. PLC - Power Line Communications. Teleco, 18 abril 2005. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/default.asp>>. Acesso em: 14 set. 2009.

Vitran, Disponível em: <<http://www.yitran.com/>>. Acesso em: 04 dez. 2009.

Xavier, Milton de Lima. Redes PLC. Disponível em: http://www.projetoderedes.com.br/tutoriais/tutorial_redes_plc_01.php>. Acesso em: 23 de out. 2009.