

PLC - Power Line Communication

Marcus Vinicius de Almeida Ferreira

Departamento de Telecomunicações – Laboratório MIDIACOM
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passos da Pátria, 156, 24210-040, Niterói, RJ, Brasil

mvferreira@midiaacom.uff.br

***Abstract.** The main goal of this work is to explain and to present the PLC technology concepts, which allow data on electrical network. Explanations regards the interconnection between the system and the electrical network, modulation, system capacity, advantages, disadvantages and others are presented of a simple way and didactic trying to make easy the comprehension about the technology. The work presents a digital inclusion and the effects in the society. Also, study the capacity of the technology to be used in the return channel on digital TV, such as others finalities.*

Keywords: Power Line Communication

***Resumo.** O principal objetivo deste trabalho é explicar e apresentar os conceitos da tecnologia PLC - Power Line Communication, que possibilita tráfego de dados sobre a rede elétrica. Explicações sobre interligação do sistema com a rede elétrica, modulação, capacidade do sistema, vantagens, desvantagens e demais considerações, são apresentadas de maneira bem simples e didática de modo a facilitar a compreensão sobre a tecnologia. O trabalho faz uma abordagem a respeito da inclusão digital e os efeitos na sociedade. Estuda a viabilidade de utilização da tecnologia no canal de retorno da TV Digital, bem como para outros fins.*

Palavra-chave: Comunicação pela rede elétrica

1. Introdução

No mundo atual, de forma rápida e massiva, vemos revoluções tecnológicas em curtos espaços de tempo. Tecnologias que antes eram consideradas de ponta, em poucos meses tornam-se obsoletas, dando espaço a novos produtos com valores agregados e de melhor performance. Uma destas "descobertas" que vem tornando a vida de todos mais fácil chama-se Internet. Todos procuram estar conectados ao mundo, acessar portais, fazer transações bancárias, ler notícias, trocar correspondências, e até falar pela grande rede através de voz sobre IP (VoIP). Enfim, muitos caminhos podem ser abertos e muitas facilidades podem estar ao alcance de todos, bastando apenas um computador e um acesso para a Rede.

Porém, infelizmente, nem todos possuem esta chance de tornarem-se conectados. Seja por limitações sociais (leia-se poder aquisitivo de comprar um computador e possuir um acesso) ou limitações de distâncias, que não justificariam o investimento feito para alcançar pequenas localidades, algumas pessoas ou até mesmo comunidades inteiras, são atingidos pela marginalidade tecnológica. Portanto, pessoas que não possuem acesso a estas ferramentas estão atualmente em grande desvantagem

em relação àquelas que já usam a Internet para desenvolver várias de suas atividades diárias.

Dados do IBGE [1], referentes ao PNAD 2004 - Plano Nacional por Amostras de Domicílio, mostram o acesso dos brasileiros à Internet, número de linhas telefônicas e acesso banda larga. Como podemos observar na Tabela 1, no final de 2004 tínhamos aproximadamente 10% de acessos à Internet, sendo que deste percentual, apenas 12% com acesso banda larga, ou seja, apenas 1,2%, muito embora espera-se atingir 20% no final de 2005. Analisando estes dados, podemos chegar a conclusão de que ainda é uma realidade bastante distante o processo de inclusão digital, mesmo o Brasil estando equiparado a países desenvolvidos, segundo a UIT. Em 2004 éramos o 10º em número de usuários de Internet, o 7º em número de *hosts* (servidores) e o 19º em número de PC's no mundo. Na Américas, o 2º colocado, ultrapassando o Canadá que anteriormente ocupava esta posição.

Tabela 1. Crescimento do nº de acessos à Internet (Banda larga e Totais)

ANO	Nº linhas telefônicas fixas em operação (LT) (mil)	Nº Acessos Internet (AI) (mil)	Nº Acessos Internet Banda Larga (AIL) (mil)	Dens. Telef. (%)	Dens. Acessos Internet (%)	AIL / LT (%)	AIL / AI (%)
2002	38.800	14.300	700	21,99	8,1	1,80	4,90
2003	39.200	16.000	1.200	21,9	8,94	3,06	7,50
2004	39.500	18.200	2.260	21,75	10,02	5,72	12,42
2005*	40.000	20.930	4.210	21,7	11,35	10,53	20,11

*estimado

Fonte: IBGE

A inclusão digital só atingirá o seu total objetivo quando pudermos prover acesso banda larga para os usuários, para que possam usufruir de todos os benefícios e recursos da Internet. Além disso, o acesso também é importante para a viabilização de novas tecnologias como VoIP. Os dados mostrados na figura não podem ser considerados 100% precisos, pois não existe uma fonte que pesquise sistematicamente o número de usuários de Internet no Brasil.

Já há algum tempo, temos notado que o número de acessos à Internet via acesso discado tende a ficar estável enquanto que o número de acesso via banda larga, está crescendo. Um dos fatores para atingir tal número, é o fato da redução de preços de tarifas e pacotes. Observa-se, entretanto, que o número de usuários com acesso discado e que estariam disponíveis a migrar para acesso banda larga é de 53%, porém 71% apontam o custo ainda elevado como principal obstáculo para esta migração.

Dados mais abrangentes do IBGE, coletados em 2003, mostram que dos 46,5% dos domicílios com serviços e bens duráveis: 97% tem iluminação elétrica, 90% tem televisão, 88% tem rádio, 62% tem telefone e 15,3% tem computador. Vemos com isto que a rede de energia elétrica possui uma capilaridade quase absoluta, atingindo grande parte dos lares. Então, por que não utilizarmos esta malha já infra-estruturada para provermos novos acessos?

Antes de tudo, temos que observar que além dos acessos aos benefícios oferecidos pela tecnologia, inclusão digital significa acessos à bibliotecas, disponibilização de jornais e revistas, aulas virtuais, etc.

1.1. O Projeto Barreirinhas

Algumas experiências estão sendo realizadas no Brasil, no sentido de se avaliar as potencialidades da tecnologia PLC para transmissão de voz e dados pela rede elétrica. As concessionárias Eletropaulo (São Paulo, SP), CELG (Goiânia, GO), CEMIG (Belo Horizonte, MG), COPEL (Curitiba, PR) e Light (Rio de Janeiro, RJ), estão fazendo experiências piloto, todas com sucesso. Em 2004 a FITec Inovações Tecnológicas e APTEL (Associação de Empresas Proprietárias de Infra-estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações), também desenvolveram várias experiências com sucesso, incluindo serviços de acesso à Internet e transmissão de dados e vídeo. A experiência mais recente, ainda em operação, denominada Projeto Barreirinhas, consistiu na implantação de uma “Ilha Digital” na pequena localidade de Barreirinhas (MA).

O município de Barreirinhas, a 240 km da capital São Luiz, apesar de abrigar o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, uma das maiores riquezas da humanidade, possui IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) que a coloca em 5.287º lugar dentre os municípios brasileiros. Sua renda *per capita* é de R\$ 213/ano por habitante. O município com 40 mil habitantes e 7,7 mil domicílios possui 178 escolas, com 15 mil alunos, dos quais 8 mil de nível médio.

Este município foi escolhido pela Secretaria de Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento para sediar um projeto de inclusão digital com participação de empresas e entidades, tais como: Anatel, Aneel, Sebrae-RJ, CELG, Cemar, EBA PLC, FITec, Samurai, FourComm, e Positivo Informática, por apresentar semelhanças com a realidade de boa parte das localidades brasileiras com população de até 50 mil habitantes [2].

Conjugando escassez de renda, falta de infra-estrutura urbana e o baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e pressionado pelo afluxo crescente do turismo, o município necessitava dispor de tecnologias alternativas às oferecidas nas grandes cidades brasileiras. Em 14 de fevereiro deste ano, foram inaugurados serviços de teleinformática nas escolas, postos de saúde e centro de artesanato, utilizando tecnologia *Power Line* na distribuição e ligação via satélite.

Instalada em tempo recorde, usando integralmente a infra-estrutura de rede elétrica já existente, e o acesso à Internet através de antena do programa GESAC (Governo Eletrônico Serviço de Atendimento ao Cidadão) disponível no município, este Projeto trouxe um reconhecido avanço tecnológico, educacional, social e econômico ao município de Barreirinhas, em apenas alguns meses, comprovando a potencialidade da tecnologia PLC.

Nesta experiência ficou evidente a simplicidade e rapidez com que se pode “iluminar” uma região, através da rápida instalação dos equipamentos na rede elétrica já existente. Cabe ressaltar que as equipes que hoje trabalham nestas operadoras de serviços elétricos, com um pequeno treinamento adicional, estariam capacitadas à instalação e manutenção de serviços de infra-estrutura “digital” sobre esta mesma rede.

A idéia chave que a tecnologia PLC faz nascer na mente dos que se vêm continuamente envolvidos em dar solução à complicada equação da ampliação de serviços em regiões de difícil retorno econômico é aquela sintetizada na expressão “compartilhamento de infra-estrutura”, ou seja, utilizar ao máximo o potencial daquilo já investido para poder alcançar maior abrangência de atendimento.

1.2. Histórico de dados na rede elétrica

A tecnologia PLC não pode ser considerada como uma nova tecnologia, pois desde o início do século XX as redes elétricas têm sido utilizadas pelas empresas de energia elétrica para dar suporte aos serviços de telecomunicações em usos internos.

Em 1920, foram desenvolvidas as idéias de sistemas de portadoras para comunicação de voz em redes de alta tensão. Com modulação AM, utilizava uma faixa de 15 à 50 kHz. Não existiam os conhecimentos de métodos de codificação nem existiam sistemas digitais para implementação de técnicas avançadas. Embora tenhamos esta como uma das primeiras técnicas de transmissão, não podemos nos esquecer que as características do sinal de dados são bem diferentes do sinal de voz.

A primeira técnica que possibilitou a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para transmissão de alguns sinais de controle foi desenvolvida em 1930. Conhecido como RPC (*Ripple Control*), caracterizava-se pela utilização de baixas frequências (100 à 900 Hz), possibilitando comunicação a taxas bem baixas e potência elevada para a transmissão. O sistema possibilitava comunicação unidirecional, sendo utilizadas tarefas simples como o acionamento da iluminação pública e o controle de carga. Até a década de 80, novos sistemas com taxas ainda modestas foram desenvolvidos. As primeiras investigações no sentido de analisar as características da rede elétrica e as reais capacidades da mesma como canal para comunicações foram conduzidas por algumas empresas de energia na Europa e Estados Unidos, ainda nos anos 80 [4]. As faixas de 5 à 500 kHz eram as mais consideradas e dois fatores tiveram predominância nestes estudos: a relação sinal/ruído e a atenuação do sinal na rede.

Em 1988 surge o primeiro protótipo de um modem usando a técnica de espalhamento espectral conhecida como *frequency hopping* ou salto de frequências. Atingia taxas de 60 bps e distância máxima de 1 Km de utilização. Sistemas capazes de fornecer comunicação de forma bidirecional através da rede de distribuição foram obtidos apenas na década de 1990, sendo marcados pela utilização de frequências mais elevada e menores níveis de potência transmitida.

1.3. Organização do Texto

O principal objetivo deste trabalho é explicar e apresentar os conceitos da tecnologia PLC - *Power Line Communication*, que possibilita tráfego de dados sobre a rede elétrica. Explicações sobre interligação do sistema com a rede elétrica, modulação, capacidade do sistema, vantagens, desvantagens e demais considerações, são apresentadas de maneira bem simples e didática de modo a facilitar a compreensão sobre a tecnologia. O trabalho faz uma abordagem a respeito da inclusão digital e os efeitos na sociedade. Estuda a viabilidade de utilização da tecnologia no canal de retorno da TV Digital, bem como para outros fins.

O restante do texto está organizado da seguinte forma. O capítulo 2 mostrará a topologia do sistema elétrico e quais as dificuldades encontradas na rede elétrica. O capítulo 3 abordará a rede de interconexão, dividindo-a em 3 partes, rede interna, rede de acesso e rede de distribuição. Falará também dos equipamentos que devem ser utilizados para que haja a interligação do mundo de dados com o mundo elétrico. O capítulo 4 introduzirá os conceitos acerca de PLC. Serão mostrados os tipos de PLC's, modulações, acesso ao meio, formato dos quadros, entre outros. O capítulo 5 fará algumas considerações finais a respeito do modelo de mercado e padronização.

Terminando o trabalho, no capítulo 6 será apresentada uma conclusão sobre a tecnologia.

2. Topologia do Sistema Elétrico

As redes de distribuição foram originalmente projetadas para transmitir energia elétrica de forma eficiente, de modo que não estão adaptadas para fins de comunicação, fazendo com que tenham que ser implementadas diversas técnicas avançadas. Devido às características especiais da rede de distribuição como canal de comunicação, investigações e transformações devem ser feitas para garantir a disponibilidade contínua do sistema elétrico e a eficiência para fins de transmissão de dados.

A energia elétrica pode ser produzida de diversas formas, basicamente consiste na transformação mecânica em elétrica. Podemos definir energia elétrica como a energia resultante do movimento de cargas elétricas em um condutor. Como dito anteriormente, atinge quase a totalidade da população brasileira, sem ela, hoje seria praticamente impossível fazermos quase tudo. Mas como ela é produzida, como é transportada por milhares de Km e distribuída em nossas casas? Como podemos observar na figura 1, existem 3 etapas bem definidas até a utilização por parte do consumidor final da eletricidade.

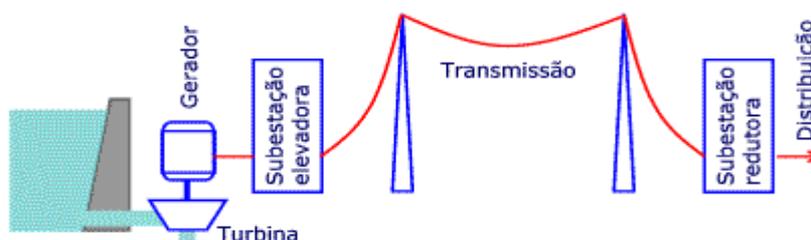


Figura 1. Geração, Transmissão e Distribuição

Serão explicados nos itens posteriores cada etapa do processo para geração de energia elétrica. Porém resumidamente, na figura 1 temos uma Usina Hidrelétrica cuja queda d'água é direcionada para grandes tubulações que fazem com que o fluxo faça uma turbina girar. A energia é transformada e conduzida para a subestação elevadora. Esta elevação de tensão é necessária pois, como os centros consumidores são muito distantes, temos que diminuir as perdas por efeito *Joule* [5]. Já nas cidades, a tensão é abaixada e distribuída aos consumidores.

2.1. Geração

Existem várias formas de se gerar energia elétrica. Porém devemos pensar na relação custo x benefício e nas dificuldades apresentadas em se produzir energia em larga escala. As formas mais comuns são citadas a seguir, porém não podemos deixar de levar em consideração as fontes de energia alternativas, tais como a eólica e a solar. Ambas possuem ainda uso restrito e pequeno, mas podem ser consideradas totalmente limpas e de fácil implantação em pequenas propriedades.

2.1.1. Térmica

Através da queima de algum combustível (óleo combustível, gás natural, carvão, madeira e resíduos, tais como o bagaço da cana, etc) pode ser obtida a energia elétrica

como descrito anteriormente. A queima destes elementos produz vapor e este, por sua vez, é conduzido até uma turbina que faz acionar um gerador. Em nível mundial representa provavelmente a maior parcela. Entretanto, no aspecto ecológico apresenta problemas. A queima destes combustíveis joga para a atmosfera poluentes variados como o enxofre. Neste tipo de geração devem ser utilizados filtros poderosos para que não haja problemas para o meio ambiente.

2.1.2. Nuclear

Pode ser entendida como uma térmica que usa caldeira, sendo a fonte de calor um reator nuclear em vez da queima de combustível. É uma energia limpa, ou seja, não existe agressão ao meio ambiente, porém perigosa e seus resíduos tóxicos devem ser armazenados e tratados de maneira adequada. Em muitos países, a construção de novas usinas está proibida.

2.1.3. Hídrica

Neste tipo de geração, o potencial da queda d'água é aproveitado para acionar as turbinas, estas por sua vez, acionam os geradores elétricos. No Brasil, é uma das mais utilizadas tendo em vista o enorme potencial hídrico. Não pode ser considerada como totalmente inofensiva porque, muitas vezes ocorre o alagamento de grandes áreas para que ali sejam feitos os reservatórios.

2.2. Transmissão

Normalmente, a geração de energia elétrica ocorre em locais distantes dos centros consumidores. No caso de nosso país, predominantemente temos uma geração baseada em usinas hidrelétricas, por isso faz-se necessária uma maneira de transportar esta energia de um ponto ao outro.

Após a energia ser gerada, ela é conduzida, ainda dentro das usinas, à subestações elevadoras que irão elevar o nível de tensão, geralmente entre 69KV e 750KV, para que seja transportada pelas linhas de transmissão. Ao chegar aos centros consumidores, haverá subestações, agora denominadas de abaixadoras, que irão receber esta energia elétrica e abaixar a tensão para níveis aceitáveis de distribuição.

A explicação anterior foi bastante simplificada, visando apenas dar uma idéia geral do processo de transmissão de energia elétrica.

2.3. Distribuição

Uma rede de distribuição deve fazer a energia elétrica chegar até os consumidores da forma mais eficiente possível. Conforme dito anteriormente, deverá haver nos centros consumidores uma subestação abaixadora que irá reduzir o nível de tensão para ser distribuído. Geralmente, a tensão é reduzida a 13,8 KV (distribuição primária) e conduzida até os transformadores das ruas. Podemos facilmente identificá-la, são aqueles três fios que ficam na parte mais alta dos postes.

Ao chegar nos postes de rua, esta tensão de 13,8 KV é abaixada para 127/220V (distribuição secundária). Para consumidores de grande porte, a tensão entregue é de 13,8 KV, por sua vez, possuem subestações próprias para alimentar sua planta. Podemos facilmente identificar a distribuição secundária. São quatro fios que ficam arranjados na

posição vertical, contendo 1 neutro e 3 fases. A figura 2 ilustra o esquema de distribuição.

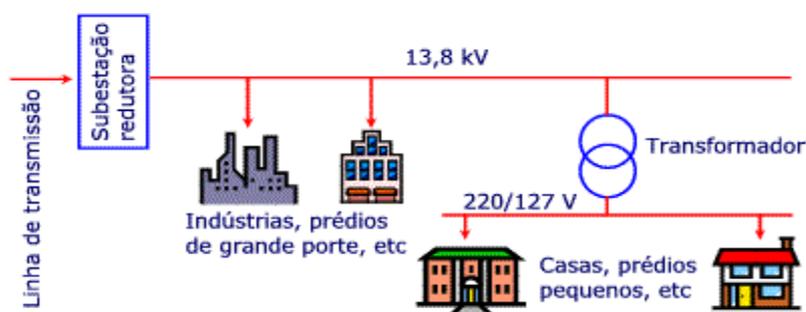


Figura 2. Distribuição primária e secundária

2.4. Principais Problemas da Rede Elétrica

Existem algumas considerações que devem ser entendidas e discutidas para que fique clara a hostilidade da rede elétrica. Serão apresentadas características intrínsecas à rede elétrica que devem ser bem observadas.

2.4.1. Ruído

Diversos equipamentos existentes em uma residência podem ocasionar diferentes ruídos impulsivos ao canal [4]. Podemos classificar o ruído impulsivo em quatro categorias: síncrono, tonal, de alta frequência e de apenas uma ocorrência (*single event impulse noise*).

O impulso síncrono é provocado principalmente por *dimmers*, pois o mesmo gera ruído ao conectar uma lâmpada à rede elétrica a cada ciclo alternado [10]. Quando uma lâmpada é interligada ao sistema com brilho médio, impulsos da ordem de dezenas de Volts são impostos na rede. Estes impulsos são o dobro da frequência da rede AC e são repetidos a cada meio ciclo.

A figura 3 mostra um exemplo deste tipo de ruído ao removermos filtros “passa alta” da rede.

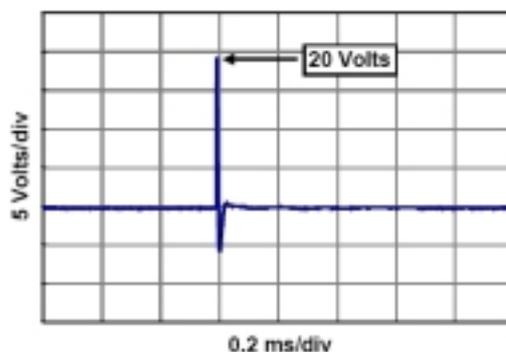


Figura 3. Impulso síncrono

O impulso tonal é frequentemente dividido em duas sub-categorias: interferência não-intencional e intencional. A fonte mais comum de impulso tonal não-intencional são as fontes de alimentação chaveadas (*switching power supplies*). Estas fontes estão presentes em diversos equipamentos, tais como: computadores, carregadores, monitores,

dentre outros. A frequência fundamental destes equipamentos está entre 10KHz e 1MHz. O ruído que eles geram é rico em harmônicos. Já o impulso intencional pode ser resultado de dispositivos como intercomunicadores que utilizam a rede elétrica (babás eletrônicas). Uma outra fonte que pode causar este impulso é a difusão de rádios comerciais.

O terceiro tipo de impulso, conhecido como impulso de alta frequência, é gerado por dispositivos que utilizam motor universal. Este tipo de motor é encontrado em aspiradores de pó, barbeadores elétricos, entre outros muitos eletrodomésticos. Estes motores geram impulsos na faixa de alguns KHz.

Por fim, o último tipo de impulso, o de apenas uma ocorrência, é ocasionado pelo simples ato de ligar e desligar aparelhos eletro-eletrônicos pois, estes dispositivos possuem um capacitor para a correção do fator de potência, o qual é carregado e descarregado, assim que o equipamento é ligado ou desligado. Dependendo do tamanho do capacitor, este efeito causa grandes tensões transientes.

2.4.2. Atenuação

Um outro problema que limita a transmissão em alta velocidade é a atenuação [4]. Geralmente, o valor da atenuação de um sinal é relacionado com a frequência e com a distância percorrida pelo sinal. Este fato limita consideravelmente a distância de transmissão em altas frequências. Na rede elétrica, as cargas e as descontinuidades de impedância também contribuem para a atenuação do sinal, e podem variar com o tempo e com a localização. Os causadores destas descontinuidades são: as emendas nos fios, os interruptores e as tomadas. As tomadas tornam-se problemáticas mesmo sem equipamentos conectados, pois, tornam-se pontos de rede sem terminação.

Ao serem conectados, os equipamentos também contribuem para a carga total da rede. Devido à diferença de impedância entre os equipamentos, há um descasamento que provoca a reflexão do sinal transmitido. Isto causa uma maior atenuação do sinal, pois parte do sinal será perdida. Esta atenuação está relacionada com a frequência pois, os aparelhos eletro-eletrônicos possuem filtros capacitivos que limitam consideravelmente sinais de baixa frequência.

2.4.3. Impedância de Rede

A impedância de rede exerce grande influência na qualidade da transmissão de sinais [4]. O transmissor do modem deve inserir uma tensão na rede elétrica que atinja o nível máximo de amplitude permitido pela norma. Portanto, a potência de transmissão é facilmente calculada quando a impedância da rede é conhecida. Quanto menor for a impedância, maior terá que ser a potência de transmissão. Todavia, sabemos que a impedância da rede pode variar com o tempo e com a frequência, tornando maior o custo do estágio de saída dos transmissores.

A impedância de rede resulta de três fatores:

- Impedância do transformador de distribuição – aumenta com a frequência;
- Impedância característica do cabo – devemos levar em consideração este fator pois, existem diversos tipos de cabos, os quais podem ser modelados de maneiras diferentes a partir de indutores e resistores em série;

- Impedância dos equipamentos conectados – pode variar entre 10 e 100Ω. O descasamento de impedância aumenta o índice de reflexão do sinal transmitido, acarretando em uma diminuição da potência do sinal original.

3. Equipamentos de Interligação da Rede PLC

Uma vez entendidos quais os problemas inerentes aos sistemas elétricos e quais as formas de gerarmos energia, deve-se, então, projetar equipamentos para que haja esta união entre dois “mundos” bastante diferentes. Deve-se levar em conta não só como será utilizada esta tecnologia, mas também, como serão inseridos elementos ao sistema para que não afete a disponibilidade de rede e conseqüentemente, haja prejuízo para os consumidores.

Para ilustrar a arquitetura de interligação, consideremos 4 níveis de rede que são mostrados na figura 4. Serão explicados os 3 primeiros em detalhe, apresentadas figuras dos equipamentos e alguns acessórios que podem ser utilizados na rede PLC.

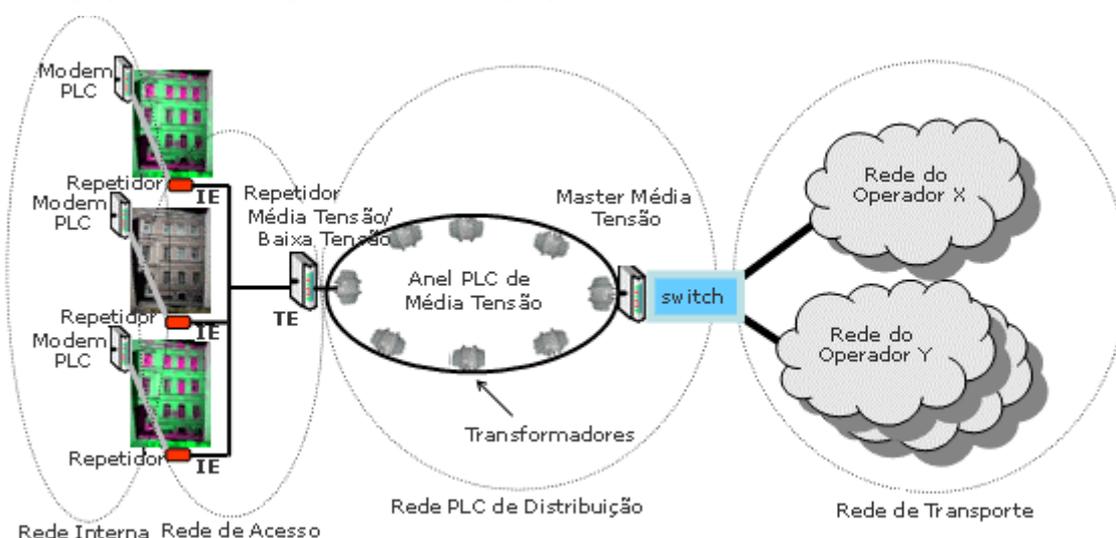


Figura 4. Níveis de Rede

3.1. Rede Interna

A rede interna do usuário final é constituída pela rede de distribuição elétrica nas instalações já existentes e pelos modems para conexão dos equipamentos que serão interligados ao serviço. Diversos modems podem ser interligados nas tomadas disponíveis na residência. Uma alternativa, já desenvolvida e testada, é a utilização de um *Access Point* 802.11 diretamente conectado no receptáculo (conhecido como bocal) como uma lâmpada. Os modems PLC normalmente possuem interface RJ45 para a rede Ethernet, interface USB e uma interface RJ11 para podermos conectar diretamente um telefone comum, pois, em geral, o modem funciona como um Gateway para prover serviço de voz sobre IP (VoIP).

A figura 5 exibe 2 tipos de modem PLC, a figura da esquerda apresenta um modem externo de mesa fabricado pela ASCOM [12] e o segundo pode ser conectado diretamente ao ponto de tomada.



Figura 5 - Modem PLC

3.2. Rede de Acesso

A rede de acesso PLC se inicia junto ao medidor de energia elétrica do usuário com introdução de um equipamento, denominado repetidor BT ou equipamento intermediário (IE). Este equipamento tem como principal função, receber os sinais PLC gerados no modem(s), efetuar o *bypass* do medidor e reinjetá-los na rede de baixa tensão. No caso de edifícios, apenas um IE deve ser instalado. Ele receberá todos os sinais PLC das unidades e os reinjetará à rede elétrica de baixa tensão [17].



Figura 6. Repetidores BT

Caso a distância entre o IE e o transformador seja maior que 300 metros [8], deveremos utilizar um repetidor. Também será necessária a utilização de um repetidor a cada 300 metros para recompor o sinal. Em alguns casos, quando tivermos situações adversas na rede que possam causar atenuação, poderemos ter que utilizar repetidores IE também. Caso a distância entre o modem PLC e o transformador seja pequena, poderemos dispensar o uso de repetidores e utilizar uma ponte de acopladores para executar o *bypass* do medidor. Acopladores são necessários para que os sinais de dados sejam adaptados. Existem dois tipos de acopladores:

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

A figura 7 apresenta os tipos descritos anteriormente.



Figura 7. Acopladores

Por fim, a rede de acesso acaba com um equipamento que é um repetidor baixa tensão / média tensão, também conhecido como *Transformer Equipment* – TE. O TE, situa-se fisicamente junto ao transformador da rede elétrica e recebe os sinais PLC transmitidos pelo diversos IE's na rede de baixa tensão e os coloca na rede de média tensão. No caso de não existir a rede PLC de média tensão, a rede PLC poderá ser ligada diretamente a uma rede de alta velocidade sobre fibra óptica, cabos metálicos ou *wireless*. Para executarmos esta interligação, temos de utilizar o equipamento conhecido como *Head End* ou *Master* de baixa tensão. A figura 8 exhibe a conexão dos repetidores de baixa tensão.

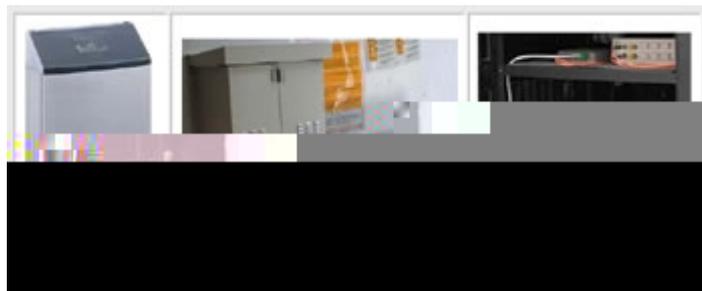


Figura 8. Repetidores BT / MT

3.3. Rede PLC de Distribuição

Na rede PLC de distribuição que acontece a interligação do mundo elétrico com o mundo de dados, ou seja, com a rede de transporte da operadora de telecomunicações, e daí segue até alcançar um ponto de acesso à Internet. Como comentado anteriormente, esta interligação é efetuada pelo *Master*.

Até agora vimos, nestes quatro níveis, apenas 4 tipos de equipamentos: o modem PLC, o repetidor de baixa tensão, o repetidor de baixa tensão / média tensão e o *Master*. Dependendo das características e topologia da rede, o repetidor de baixa tensão poderá ser suprimido, reduzindo ainda mais os custos de implantação. Na figura 9 temos uma foto do equipamento *Master*.



Figura 9. Master

Poderemos ter ainda uma outra configuração, pois, caso a interligação com a rede de transporte se dê diretamente através da linha de baixa tensão, teremos apenas o modem PLC e o *Master* de baixa tensão.

3.4. Equipamentos Acessórios

3.4.1. Caixa de Distribuição

Utiliza-se uma caixa de distribuição (ilustrada na Figura 10) com a finalidade de facilitar a distribuição do sinal PLC em painéis elétricos de edifícios [8]. Geralmente, vem acoplada com um filtro de surtos, que filtra os ruídos provocados pelos equipamentos ligados na rede elétrica.



Figura 10. Caixa de Distribuição

3.4.2. Isolador de Ruídos

O isolador de ruídos (ilustrado na Figura 11) deve ser utilizado para a conexão do modem PLC, quando no circuito aonde o modem será conectado existirem aparelhos eletrônicos [20]. Com a utilização deste acessório, teremos um melhor desempenho da rede PLC, pois, diminuiremos o nível de ruído na rede.



Figura 11. Isolador de Ruídos

4. Tecnologia PLC

Como visto no capítulo 1.2 (Histórico de dados na rede elétrica), a tecnologia de se transportar sinais através de cabos elétricos já é dominada há algum tempo. Como exemplo, temos o antigo sistema de babá eletrônica. O princípio de funcionamento deste

sistema é o de modular sons captados por um microfone, injetando este sinal na rede elétrica e o recuperando em outro local, onde é convertido novamente em som. Deste modo, basta instalarmos uma caixa em um quarto qualquer e a outra no quarto a ser monitorado. Com o passar dos anos, esta técnica evoluiu muito, mesmo porque existem vários equipamentos que geram modulações na rede elétrica. Normalmente, chamamos estas modulações de “ruídos”, os quais são facilmente identificados. Percebemos isto ao ligarmos um antigo modelo de liquidificador. Quando em uso, gera uma série de interferências em diversos aparelhos, tais como som e televisão [20].

Estes aparelhos utilizam um sistema que transfere a eletricidade para o rotor de seus motores através de carvões. Por causa deste atrito, é gerada então uma centelha que acaba por injetar na rede elétrica um sinal modulado, não uniforme, e em uma frequência bem próxima a velocidade com que o motor gira, além de suas frequências harmônicas (frequências múltiplas). Com este “ruído” gerado, a própria fiação elétrica irá conduzir este sinal a outros equipamentos instalados nas proximidades.

Como neste caso não há controle do nível desta modulação e nem filtros para impedir a propagação (no caso de aparelhos antigos), os próprios cabos servem como “guias” e acabam por ajudar no transporte, interferindo até mesmo em rádios à pilha. Apesar dos mesmos não estarem conectados à rede elétrica, acabam por captar estes sinais e os transformam em sons interferentes.

Aproveitando-se deste fenômeno da propagação de ondas através dos condutores elétricos, foi desenvolvida uma tecnologia capaz de transmitir de forma controlada (frequências e níveis de propagação específicos) sinais que utilizam as frequências de forma inteligente e diferenciada daquelas utilizadas por outros equipamentos e pela própria transmissão de energia elétrica. Assim, tornou-se possível transmitir vários sinais utilizando os mesmos cabos que conduzem a energia elétrica. Chamamos esta tecnologia de PLC ou *Power Line Communication*. Atualmente, a denominação *Broadband Power Line* ou BPL também tem sido muito falada. Os sistemas que utilizam PLC operam na faixa entre 1,6 e 30 MHz e alcançam taxas de até 200 Mbps [13]. A escolha das frequências de operação das portadoras deve ser baseada em medições e planejamentos de frequências de banda de rádio de ondas curtas e de acordo com as normas. Os dispositivos PLC asseguram uma boa qualidade de áudio e vídeo. O sistema é capaz de fazer distinção entre pacotes TCP e UDP. Também apresentam agentes SNMP, os quais são imprescindíveis para que haja um monitoramento e controle da rede [19].

Como a rede elétrica não foi projetada para transportar dados, a comunicação através deste meio é mais difícil e mais criteriosa do que por cabos telefônicos ou pares trançados. O cabeamento utilizado pela rede elétrica dentro das residências possui uma topologia análoga à topologia da fiação telefônica. Porém, analisando o sistema como um todo, temos a combinação das topologias em estrela, árvore e multiponto que fazem com que haja problemas de reflexão de sinais devido ao descasamento de impedância. Além disso, não podemos deixar de considerar que os pontos das tomadas utilizam geralmente dois fios (uma fase e um neutro) compartilhados entre todos os pontos de tomada conectados, isto implica em dizer que o modo *full-duplex* não pode ser utilizado.

Um outro ponto a ser levado em consideração é a característica de distribuição de fase em uma residência. Podemos ter usuários sendo atendidos por sistemas monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Dependendo da potência instalada em cada

unidade, teremos um tipo de atendimento. Com isto temos um outro problema, pois as tomadas são conectadas a diferentes fases e há uma grande atenuação entre as fases do transformador de média para baixa tensão.

A interferência causada por aparelhos eletrodomésticos, conforme dito anteriormente, e as características dos cabos de energia são problemas que devem ser estudados mais a fundo. Ao passo que nas redes *Ethernet* os cabos são trançados, na rede elétrica isto não acontece, fazendo com que a emissão de sinais de alta frequência aumente. Esta emissão provoca interferência entre os fios e prejudica a transmissão em altas taxas.

A rede elétrica é, sem dúvida alguma, um dos pontos de maior estudo para que haja esta interligação com a rede de dados. Devemos nos lembrar que, em uma residência o meio físico é compartilhado por todos os aparelhos eletro-eletrônicos. Com isto, qualquer conexão ou desconexão destes aparelhos, poderá modificar significativamente as características e levará o sistema a apresentar variações imprevisíveis de ruído, impedância e interferência. Por esses motivos, a comunicação utilizando esta tecnologia ainda se apresenta como um grande desafio.

Veremos na próxima sub-seção como podemos unir os dois sinais para que possam trafegar juntos no mesmo meio. Quais as modulações existentes que são utilizadas na tecnologia PLC. Em seguida, serão abordados conceitos de tipos de redes PLC existentes, quais são as características de uma rede *outdoor* e *indoor*. Na sub-seção posterior, serão explicados como os diversos equipamentos, interligados numa mesma rede PLC, podem acessar o mesmo meio físico e como é feita esta “disputa”. Mais a frente, serão mostrados os formatos dos quadros utilizados pelo padrão *HomePlug 1.0*. Por último, será falado sobre a segurança utilizada na Rede PLC.

4.1. A Camada Física

As características da rede elétrica tornam a tarefa de utilizá-la para trafegar dados muito difícil. Para vencermos as barreiras impostas, temos que combinar várias técnicas de modulação, processamento de sinais e correção de erros. Todas estas técnicas devem ser utilizadas em conjunto para que alcancemos o melhor desempenho. Uma destas técnicas, fundamental ao funcionamento do sistema, é a modulação. Para acoplarmos um sinal de informações com o sinal da portadora que trafega pela rede elétrica, temos algumas técnicas, cada uma com suas vantagens e desvantagens.

4.1.1. Spread Spectrum

Conhecida como espalhamento espectral (*spread spectrum*), esta técnica consiste em distribuir a potência do sinal ao longo de uma ampla faixa de frequências para garantir que sua densidade espectral seja bastante baixa. Em contrapartida, a largura de banda necessária para transmissão de taxas na ordem de Mbps é elevada.

4.1.2. OFDM

A técnica OFDM – *Orthogonal Frequency Division Multiplex* – é a modulação utilizada pelo padrão *HomePlug 1.0* [6]. Consiste em modular um grande número de portadoras de banda estreita distribuídas lado a lado. Oferece grande adaptabilidade ao sistema, pois é possível suprimir portadoras interferentes, interferidas ou variar o carregamento (número de bits) de cada portadora de acordo com a relação sinal/ruído ou atenuação do

enlace. Necessita de amplificadores altamente lineares para evitar que as harmônicas das portadoras provoquem interferências.

Conforme o ruído se propaga por diversas frequências, os sinais são carregados e transmitidos (modulados), em várias frequências simultâneas, e em níveis de carregamento diferentes, aproveitando desta forma a melhor condição possível do *link* escolhido. A figura 12 ilustra esta relação entre sinal/ruído e o carregamento de bits.

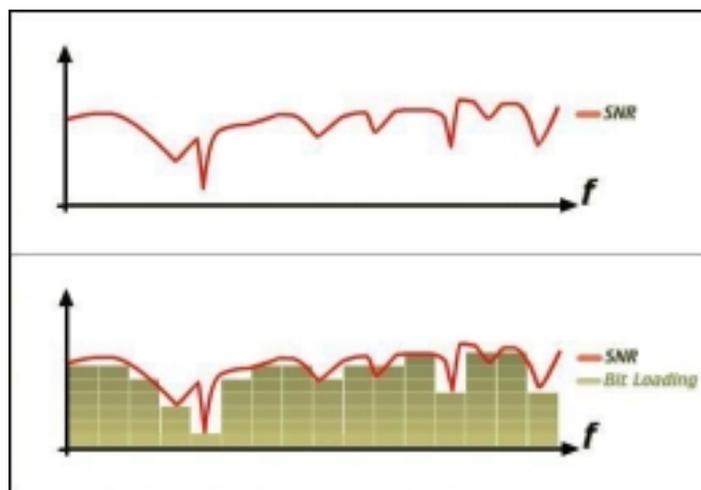


Figura 12. SNR x Carregamento de bits

Além de ser bastante difundida na indústria e literatura, é utilizada em outras tecnologias, como xDSL, DAB, DVB e nos padrões de redes locais sem fio IEEE 802.11a e 802.11g.

Existe um outro modo de transmissão OFDM conhecido com ROBO – *ROBust OFDM*. Como seu nome indica, é um modo mais robusto, com maior redundância para suportar condições de muito ruído. É utilizado nos seguintes casos:

- Quando duas estações querem iniciar uma comunicação, mas ainda não foi feita uma estimativa do canal e elas não sabem que parâmetros de transmissão utilizar. Esta estimativa do canal é feita pelo menos uma vez a cada cinco segundos por todos os nós ativos na rede *HomePlug* para cada nó destino. Este procedimento tem como finalidade, avaliar quais subportadoras estão sujeitas ou não, a ruídos e interferências que impossibilitem seu uso. Uma vez detectado problema nas subportadoras, elas são então descartadas, utilizando-se apenas as subportadoras restantes;

- Quando a transmissão com os parâmetros estimados falha;

- Para transmissão em difusão e *multicast* onde não podemos determinar parâmetros ideais para todas as estações da rede;

- Quando há mais de 16 dispositivos na rede. A especificação do PLC suporta até 16 dispositivos na sua taxa de transmissão normal. Caso sejam conectados mais que 16, todos mudam automaticamente para o modo ROBO.

4.1.3. GMSK

A técnica GMSK – *Gaussian Minimum Shift Key* – é um caso particular da modulação OFDM, muitas vezes é referida como OFDM de banda larga. Nesta técnica, as portadoras são moduladas em fase, resultando em um “envelope” constante para que os

amplificadores possam ser mais simples. O sinal é robusto contra interferências de banda estreita, como sinais de rádio de ondas curtas.

4.2. Tipos de PLC's

Existem dois tipos de padrão para o uso da tecnologia PLC, os quais são mostradas nos itens a seguir [9].

4.2.1. PLIC

O padrão PLIC – *Power Line Indoor Communication* ou *Internal Telecom* (também denominado de In-house BPL), muito difundido nos Estados Unidos, Europa e Ásia, consiste em uma caixa comutadora que interliga uma rede de banda larga, xDSL, WiFi, Cable Modem ou outra qualquer, com a rede elétrica interna de uma casa. Com isso, todas as tomadas de lá estão habilitadas a transmitir dados além da eletricidade, ou seja, funcionariam também como pontos de conexão de uma rede de dados. Para se conseguir esta arquitetura, devemos utilizar um modem externo especial para converter os sinais.

4.2.2. PLOC

O padrão PLOC – *Power Line Outdoor Communication* funciona basicamente como redes de TV à cabo, por exemplo. Nesta configuração, há o papel do *Master*, o qual é responsável pelo controle e pela repetição, que é conectado à distribuição secundária ou primária. O número de usuários que podem ser conectados em um mesmo *Master* varia, porém geralmente o número máximo são 40 usuários. Segundo alguns testes que estão sendo feitos, caso o *Master* esteja na rede de distribuição primária, ou seja, na rede elétrica que apresenta tensão de 13,8 KV, poderá cobrir uma área de até 2 Km, sem perdas. Com esta configuração, assim como a configuração PLIC, todas as tomadas estariam prontas para servirem de ponto de acesso, diferenciando-se apenas no modo de controle e local de interligação dos equipamentos elétricos e de transmissão de dados.

Uma outra característica do tipo PLOC é a possibilidade de se personalizar a taxa de transmissão de acordo com o contrato de assinatura do usuário, tal como existe hoje em serviços ADSL e *Cable Modem*.

4.3. O Controle de Acesso ao Meio

O *HomePlug Powerline Alliance* foi formado em 2000 [6]. Desta aliança participam diversas empresas que têm como finalidade padronizar o acesso às redes domiciliares. Esta união especificou o padrão *HomePlug 1.0* e está finalizando o *HomePlug AV* ou *Home Plug 2.0*.

A escolha de um protocolo de controle de acesso ao meio requer diferentes tipos de desafios, pois deverá suportar diversos tipos de aplicações e QoS tais como *streaming* e VoIP. Levando-se em consideração estes e outros aspectos, a aliança definiu um modelo para trabalhar com quadros 802.3. Esta escolha simplifica a integração pois, o padrão *Ethernet* é bem difundido e de conhecimento amplo. O PLC trabalha na camada 2 do modelo OSI, ou seja, na camada de enlace. Sendo assim, pode ser agregado a uma rede TCP/IP já existente, além de poder trabalhar em conjunto com outras tecnologias de camada 2. Assim como foi mostrada na seção 4.1.2 a camada física especificada no padrão *HomePlug 1.0*, a seguir será detalhada a subcamada de acesso ao meio.

O método de acesso utilizado no *HomePlug 1.0* é uma variante do já conhecido CSMA/CA. Embora o método de acesso CSMA/CD seja muito utilizado nas redes 802.3, ele não é utilizado nas redes de energia elétrica devido principalmente à atenuação e ao ruído. Com isto, poderão ser geradas variações na potência do sinal recebido e a detecção de colisão através da diferença de potencial entre os sinais não pode ser garantida.

O padrão utiliza quatro níveis de prioridade no acesso ao meio, de modo que haja suporte a qualidade de serviço, que são atribuídos em função do tipo de tráfego, de acordo com a norma 802.1D. Estas prioridades estão associadas com as classes CA0 à CA3, sendo a classe CA3 de maior prioridade. A classe CA3 é usada para as prioridades 6 e 7 das *tags* de VLAN (controle da rede e tráfego extremamente sensível ao tempo, com *delay* e *jitter* menores que 10ms, como a voz) e a CA2 está associada às prioridades 4 e 5 (tráfego sensível ao tempo, com *delay* menor que 100ms, como áudio e vídeo). A classe CA1 é a padrão e está associada às *tags* 0 e 3 (tráfego de redes). Já a classe CA0 está associada às *tags* 1 e 2 e é utilizada como tráfego *best effort* (melhor esforço). A lógica de transmissão de um quadro é apresentada na figura 13.

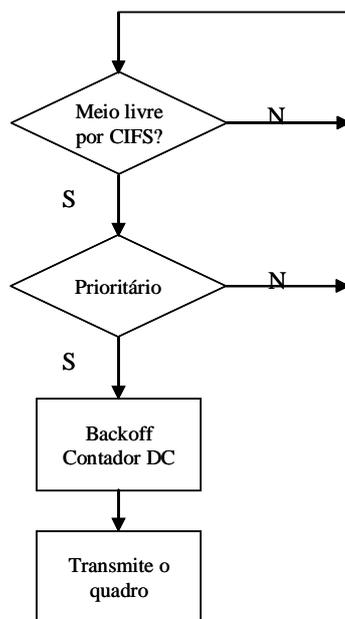


Figura 13. Lógica de acesso ao meio

Antes de começar a transmitir um quadro de dados, uma estação deve “escutar” o meio. Para detectar se o meio está ocupado, as estações usam a detecção física (PCS – *Physical Carrier Sense*) e a detecção virtual de portadora (VCS – *Virtual Carrier Sense*). A camada física sinaliza à subcamada MAC ao detectar preâmbulos ou intervalos de tempo usados para determinar prioridade [7]. Além disso, a subcamada MAC utiliza uma detecção virtual de portadora a partir de informações referentes ao tempo de ocupação do canal pela transmissão atual. Assim como no 802.11, o padrão utiliza diferentes intervalos de tempo de modo a dar prioridade a determinados tipos de quadros. Caso o meio permaneça livre por um determinado intervalo de tempo CIFS – *Contention Distributed Interframe Space*, cujo valor é de 35,84 μ s, a estação entra na fase de determinação de prioridade. Caso contrário, a estação aguarda o meio ficar livre durante o intervalo de tempo CIFS. São utilizados dois intervalos de tempo para

determinação de prioridade (*Priority Resolution – PR*), a fim de permitir que apenas as estações com fluxos de maior prioridade disputem o meio no período de contenção. Cada um dos intervalos de tempo, denominados de PR0 e PR1, tem a mesma duração do intervalo CIFS, que é de 35,84 μ s. A sinalização de classe de prioridade é feita quadro a quadro através de sinais chamados PRSs (*Priority Resolution Signal*), enviados nos períodos PR0 e PR1. Os sinais de determinação de prioridade usam uma modulação do tipo *on-off*, na qual o número de cada classe representa o sinal a ser transmitido em binário.

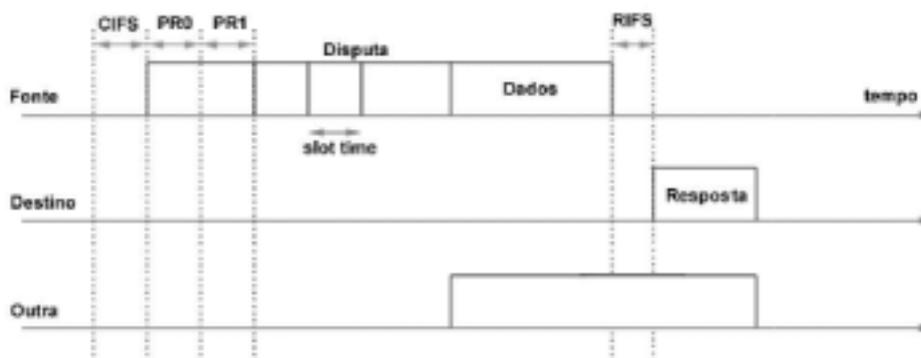


Figura 14. Transmissão de um quadro

Por exemplo, para enviar um quadro de classe CA2, uma estação envia um bit 1 em PR0 e não envia nada em PR1 (bit 0 em PR1), ou seja sinaliza 10 (2 em binário). Ao escutar o bit 1 em PR0, todas as estações com quadros de classes inferiores a CA2 adiam suas transmissões, voltando a esperar o meio ficar livre por CIFS.

Por outro lado, uma estação de classe CA3 sinaliza em PR0 e em PR1, indicando assim, a sua maior prioridade. Além disso, é dada prioridade à transmissão de segmentos de um mesmo quadro em relação a outros quadros de mesma ou menor prioridade.

No período de disputa, a estação escolhe um número aleatório uniformemente distribuído entre zero e o tamanho da janela de contenção (*Contention Window - CW*) e cria um contador de *backoff*. De forma similar ao padrão IEEE 802.11, o valor da janela de contenção depende do número de vezes que a função de *backoff* é chamada para o quadro a ser transmitido. Para as classes CA3 e CA2, os valores da janela de contenção são 7, 15, 17 e 31, para zero, uma, duas e mais do que duas chamadas da função de *backoff*, respectivamente [21]. Para as classes CA1 e CA0, os valores são 7, 15, 31 e 63. Enquanto o meio estiver livre nos períodos de disputa de mesma prioridade, o contador de *backoff* é decrementado periodicamente a cada intervalo de tempo (35,84 μ s) e quando o contador chega a zero, a estação transmite o quadro. Além disso, um contador de adiamento (*Deferral Counter - DC*) é criado para evitar colisões. Esse contador DC também depende do número de vezes que a função de *backoff* é chamada para o quadro a ser transmitido.

Os valores de DC são 0, 1, 3 e 15 para 0, 1, 2 e mais do que 2 chamadas da função de *backoff*, respectivamente. Cada vez que outra estação captura o meio para transmitir um quadro de mesma prioridade, o DC é decrementado. Se o DC alcançar zero, assume-se que há um grande número de estações querendo transmitir com a mesma prioridade, aumentando assim a probabilidade de colisão.

Por isso, a estação chama novamente a função de *backoff*. O uso do contador de adiamento pode ter um efeito melhor do que deixar a colisão acontecer, o temporizador criado no transmissor estourar e só depois escolher um novo valor para a janela de contenção.

Através do mecanismo de detecção virtual, uma outra estação (vide Figura 14) obtém a informação de quando a transmissão irá terminar e se uma resposta é esperada. Com essas informações, os ouvintes adiam suas transmissões pelo período necessário para o envio do quadro e de sua resposta. Em relação à resposta, é utilizada uma solicitação de repetição automática (*Automatic Repeat Request - ARQ*) do tipo *stop and wait*. Caso uma resposta seja esperada e o quadro tenha sido corretamente entregue, a estação receptora envia um ACK se o meio estiver livre por um tempo denominado espaço de resposta entre quadros (*Response Distributed Interframe Space - RIFS*). Como RIFS é o menor dos espaços entre quadros (26,0 μ s), isso garante uma prioridade no envio das respostas em relação ao envio de dados. Além do ACK, existem dois outros quadros de resposta: NACK e FAIL, também enviados após RIFS. O NACK está associado a uma entrega mal sucedida e o FAIL indica que o receptor não pôde armazenar o quadro, seja porque não há *buffer* para a remontagem do quadro completo ou porque o quadro foi recebido fora de ordem. Somente quadros de alta prioridade podem ser enviados pela estação transmissora à estação que respondeu com um quadro FAIL.

Se o quadro associado à resposta FAIL não for o primeiro, então toda a tentativa de envio do quadro completo é abortada e a estação transmissora recomeça. A estação tenta transmitir o quadro até que o limite de retransmissões seja ultrapassado ou o tempo máximo de transmissão seja excedido. Caso o quadro recebido pela estação transmissora seja um NACK ou caso a estação transmissora não receba um quadro de reconhecimento dentro de um determinado tempo, deduzindo que houve uma colisão, a estação transmissora escalonará uma retransmissão e entrará no processo de *backoff*. Se o número máximo de tentativas é alcançado, a estação passa para o modo de transmissão mais robusto e novas tentativas são realizadas. Caso, ainda assim, não haja sucesso na transmissão, então o quadro é descartado e uma falha é reportada para a subcamada superior. Opcionalmente ACK's parciais estão disponíveis para quadros em *multicast* e em difusão. Nesse caso, a estação transmissora pode saber que pelo menos uma estação recebeu o quadro corretamente.

Segmentação e remontagem são utilizadas para aumentar a justiça e diminuir o erro na transmissão dos dados. A segmentação é realizada em função do tamanho do quadro e da taxa de transmissão. Todos os segmentos de um quadro são enviados em rajada, sem a necessidade da disputa pelo meio para a transmissão de cada segmento. No entanto, estações com fluxos de maior prioridade podem acessar o canal entre os segmentos de uma rajada, pois após o envio de um segmento e de sua resposta, é aberto um novo período de determinação de prioridade.

4.4. Formato do Quadro

O padrão *HomePlug 1.0* utiliza dois formatos básicos de quadros: quadro longo e quadro curto. O quadro longo, ilustrado na figura 15, é o que carrega os dados e consiste de um delimitador de início (SOF – *Start of Frame*), carga útil (*payload*), de um espaço de 1,5 μ s denominado de EFG (*End of Frame Gap*) e delimitador de fim (EOF – *End of*

Frame). O quadro curto, apresentado na figura 16, é utilizado para o envio de reconhecimento dos quadros de dados e consiste de um delimitador de resposta que é utilizado como parte do processo de repetição automática (ARQ) *stop and wait*. Como é de conhecimento, o mecanismo de retransmissão ARQ causa retransmissão de quadros que se corromperam então, desta forma, consegue-se reduzir a taxa de pacotes com erro.

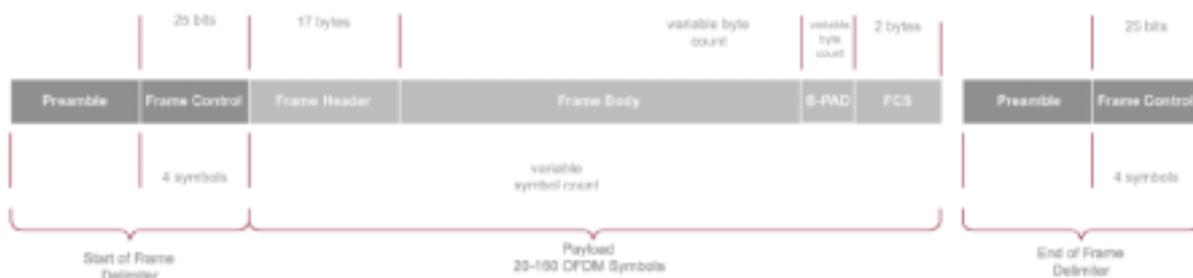


Figura 15. Quadro longo

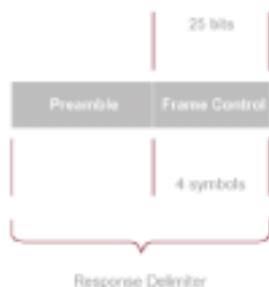


Figura 16. Quadro curto

Todos os delimitadores compartilham a mesma estrutura. Um delimitador consiste de um preâmbulo e um controle de quadro (FC – *Frame Control*). O preâmbulo é formado por símbolos OFDM, possui duração de 38,4 ms e é utilizado para sincronismo, controle automático de ganho e detecção física de portadora. O campo *Frame Control* possui 25 bits codificados, sendo 1 para controle de disputa, 3 bits do tipo do delimitador, 13 bits do campo variante e 8 bits de seqüência de verificação. Durante uma rajada de quadros, o bit de controle de disputa é igual a 1 até o último segmento. O campo tipo de delimitador indica se o delimitador é de início de quadro, de fim de quadro ou de resposta. Além disso, este campo nos delimitadores de início e fim de quadro indica se uma resposta é esperada.

A seqüência de verificação é um CRC (*Cyclic Redundant Check*) calculado sobre os outros 17 bits. A função do campo variante depende do tipo do delimitador. Para o delimitador de início de quadro são usados 8 bits de comprimento de quadro e 5 bits de índice de mapa de tons. Para o delimitador de fim de quadro são usados dois bits de prioridade de acesso ao canal para o quadro, úteis durante transmissões em rajada. No caso do ACK, existem dois bits que repetem a prioridade do quadro para o qual a resposta foi gerada. Os outros bits são os 11 bits menos significativos do campo seqüência de verificação do quadro reconhecido. Para o NACK, existem os dois bits de prioridade, um bit zero (indica o tipo de resposta NACK) e 10 bits de seqüência de verificação. Para o FAIL, a única diferença é no terceiro bit que tem valor um para indicar uma resposta do tipo FAIL.

O quadro longo é composto ainda de cabeçalho, pelos dados, pelo enchimento de bloco, pela seqüência de verificação de quadro – FCS, pelo espaço de fim de quadro – EFG e pelo delimitador de fim de quadro. O cabeçalho do quadro contém um controle de segmento e os endereços de destino e de origem de 48 bits do formato IEEE 802.1Q. O controle de segmento consiste em 3 bits de controle de versão, 2 bits reservados, um *flag* de *multicast* usado para sinalizar o envio de quadros *multicast* ou em difusão, 2 bits de prioridade de acesso ao canal, 15 bits de comprimento de segmento, 1 bit de indicação de último segmento, 6 bits de contagem de segmento e 10 bits de número de seqüência. Os campos contagem de segmento e número de seqüência são utilizados para segmentação e remontagem. O número de seqüência é o mesmo para todos os segmentos do mesmo quadro e a contagem de segmento indica um segmento dentro do quadro. Cada origem mantém um número de seqüência por classe de prioridade.

O enchimento de bloco preenche o bloco físico de transmissão com zeros, sendo somente utilizado no último segmento de um quadro. O campo seqüência de verificação de quadro contém um CRC de 16 bits calculado do cabeçalho de quadro até o enchimento de bloco.

4.5. Segurança

Como pode ser observado, a rede PLC compartilha o meio com todas as residências ligadas ao mesmo transformador, com isso, poderíamos “escutar” outras transmissões. Para resolver este problema, a tecnologia PLC emprega o algoritmo de criptografia DES (*Data Encryption Standart*) de 56 bits [3].

Este algoritmo foi desenvolvido na década de 70 por agências americanas. O objetivo era criar um método padronizado para proteção dos dados. O primeiro esboço do algoritmo foi feito pela IBM com o nome de LUCIFER. Em 1976 tornou-se uma norma federal americana. O DES trabalha fundamentalmente com duas operações: deslocamento de bits e substituição de bits. A chave é a controladora deste processo. Ao fazer estas operações várias vezes, e de uma maneira não-linear, chega-se a um resultado que não pode ser revertido, a menos que se tenha a chave.

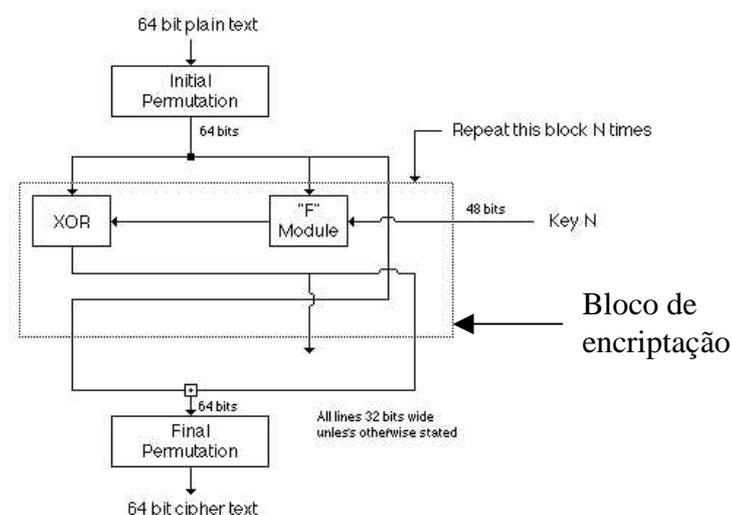


Figura 17. DES

Para sua operação, consideremos que são divididos blocos de 64 bits de dados de cada vez. Cada bloco sofre de 1 a 16 iterações. Para cada iteração, 48 bits de uma chave de 56 bits entram no bloco de encriptação, representado na figura 17. A decríptação é o processo inverso. O módulo F é o “coração” do algoritmo. Consiste de diferentes transformadas e substituições não-lineares. Apesar de ser um algoritmo relativamente antigo, apresenta grande segurança.

4.6. Expansibilidade

A rede PLC apresenta algumas limitações para ser expandida, como todo sistema. Conforme as necessidades impostas pelos usuários e pelas diversas topologias das redes elétricas, poderá sofrer alterações no número de equipamentos. Todavia, existem limites de equipamentos para serem inseridos no sistema.

Podemos colocar até 254 modems PLC por *Head End*. Pode-se notar, que em termos de quantidade de equipamentos conectados em uma única célula PLC, este limite é bastante grande [16].

Entretanto, deve-se observar que tais limites não se encontram na quantidade de usuários conectados mas sim, na qualidade do serviço oferecido, o qual é calculado pela banda total do *Head End* dividido pelo número de usuários nele conectados. Devemos considerar, além disso, as características de cada usuário, tais como: velocidade de acesso, garantia de banda e prioridade.

No caso de ultrapassarmos os limites, outros *Head End* poderão ser instalados para uma mesma célula PLC, necessitando-se então de modelos mais complexos de instalação. Porém, devemos considerar que, pelas características e condições de rede elétrica, dificilmente estes limites serão alcançados, pois não é comum existir mais que 100 consumidores utilizando um mesmo transformador.

4.7. Taxas Alcançadas

O padrão *HomePlug* 1.0 é o padrão atualmente utilizado. Com ele, podemos atingir uma taxa de 45 Mbps. Em um futuro próximo, teremos o padrão *HomePlug* 2.0 que possibilitará atingir taxas de até 200Mbps.

Alguns testes estão sendo feitos por concessionárias de energia elétrica, porém poucas disponibilizam os resultados obtidos. Serão apresentadas nesta seção, algumas comparações de *downloads* feitos pela Hidrelétrica Xanxeré. As figuras 18, 19 e 20 mostram testes comparativos feitos a partir de três *links* de acesso diferentes: acesso discado (56 Kbps), acesso ADSL (512 Kbps) e acesso PLC (7.5 Mbps). Como base para os testes, foi utilizado o arquivo *Adobe Reader* existente no servidor da empresa e que possui tamanho de 8,96 MB.

Para a realização do teste na rede PLC, foi utilizado um outro arquivo, de tamanho 100 MB, porém com o mesmo nome. Desta forma, pode-se observar o *download* do arquivo, via rede PLC, por um tempo maior, variações de velocidade e estabilidade do link. A velocidade de acesso, neste teste, ficou limitada à 7.5 Mbps por condições impostas pela rede elétrica na qual o acesso foi instalado. Vale a pena ressaltar que, somente o PLC e as condições da rede elétrica poderiam influenciar na taxa de *download* pois, a rede na qual o servidor está instalado é de 100 Mbps e o PLC está diretamente conectado à ela. Com isso, temos os seguintes resultados:

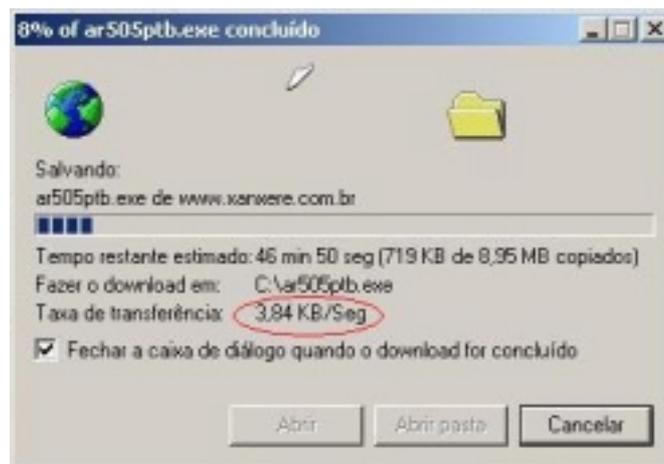


Figura 18. Download via conexão discada

No *download* via conexão discada, o link se manteve estável e a velocidade constante, porém baixa.

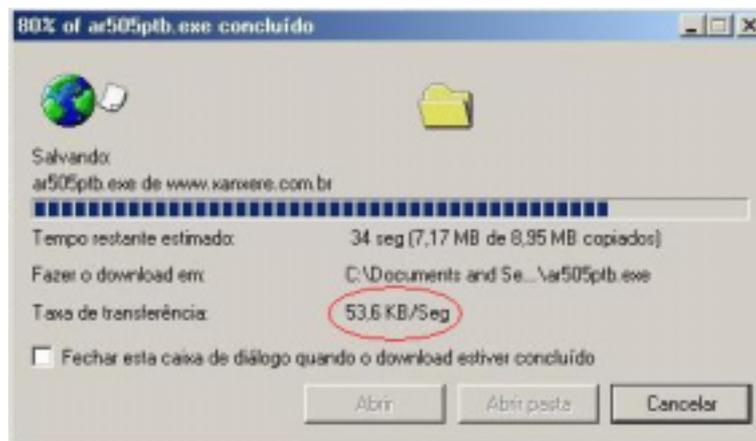


Figura 19. Download via ADSL

No *download* via ADSL, o link também se manteve estável e a velocidade variando.

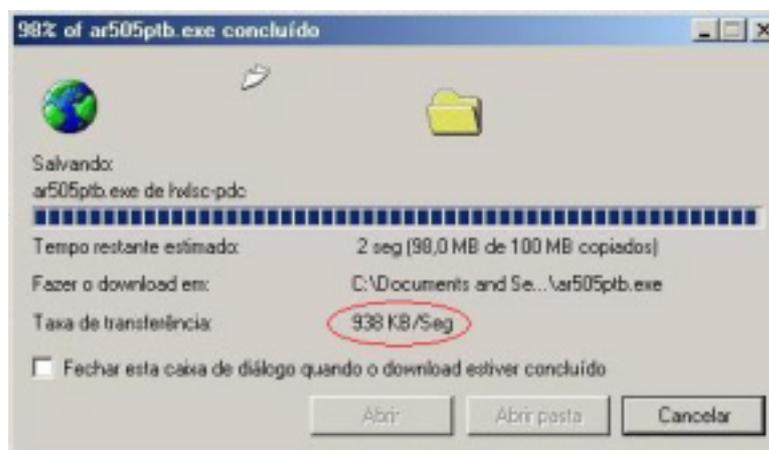


Figura 20. Download via PLC

O teste do *download* via PLC apresentou link estável, velocidade estabilizada logo no início do *download*, pequenas variações momentâneas ($\pm 0,05\%$) em decorrência de alterações de modulação no sistema elétrico.

4.7. Perguntas Frequentes

- O PLC pode interferir em algum eletrodoméstico?

Não, as frequências utilizadas pelo PLC não são usadas por nenhum outro eletrodoméstico e, portanto, podem conviver sem problemas com Telefones sem fio, Celulares, Televisões, Rádios, Microondas, etc [18].

- O que pode causar interferência no PLC?

Os principais causadores de interferência são os motores de escova e os *dimmers* de Luz. Entre os motores domésticos, destacam-se os secadores de cabelos, aspiradores e as furadeiras elétricas.

- O meu vizinho pode entrar na minha rede?

Não, conforme dito na seção 4.5, toda comunicação do PLC está encriptada com o algoritmo DES de 56 bits.

- Posso ligar o *Modem* PLC numa régua de tomadas com filtro de linha?

Não, os filtros de linha são bloqueadores de altas frequências e por isso também bloqueiam os sinais do PLC.

- É preciso fazer adaptações na fiação elétrica para instalar o modem PLC?

Não. O PLC funciona nas instalações elétricas existentes, podendo ocorrer variação velocidade de acesso caso as condições da fiação elétrica sejam de baixa qualidade.

- Qual o consumo médio de um *Modem* PLC? A conta fica mais cara?

Aproximadamente 9W, portanto, não haverá aumento significativo na conta de energia.

- Como instalar o modem PLC?

O *Modem* PLC deve ser instalado em uma tomada comum. O cabo de conexão com a placa de rede é padrão RJ45.

- Quando falta luz o PLC funciona?

Sim, o PLC continuará funcionando, mas para isso é necessária a instalação de um *No-Break* ligado ao “Modem PLC” e ao microcomputador.

5. Considerações Finais

5.1. Modelo de Mercado

Temos todas as ferramentas ao nosso alcance, a tecnologia pronta para ser utilizada, então, o que falta para que o tráfego de dados sobre a rede elétrica torne-se comercial? Quanto aos serviços, sabemos que a tecnologia é bem robusta e permite diversos serviços multimídia que são exatamente os mesmos que podem ser fornecidos por outras tecnologias, como, por exemplo, a tecnologia ADSL. Atualmente, o modelo

adotado pela ANATEL não exige regulamentação adicional para a prestação dos serviços, utilizando tal tecnologia. Já quanto aos produtos que deverão ser instalados, a ANATEL necessita certificá-los para garantir que haja compatibilidade entre diferentes fabricantes, níveis de segurança e emissão correta de frequência, objetivando minimizar interferências em outros sistemas.

Uma vez vencidas as barreiras citadas acima, a implantação da tecnologia esbarra em entraves regulatórios, ou seja, do sistema de prestação de serviços (forma de exploração dos serviços) e do modelo tarifário. Segundo especialistas no setor de regulamentação elétrica, o motivo de ainda não terem sido implantadas soluções comerciais deve-se ao fato de que, no modelo atual, nos contratos de concessão de energia, negócios paralelos influenciariam no fator de reajuste do serviço principal. Por isso, se a concessionária de energia possuir uma divisão, voltada para outro serviço, e se este for bem sucedido, o fator de reajuste poderá ser prejudicado. Para tentar resolver este problema, os interessados em viabilizar a tecnologia estudam mudanças destas regras junto à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Outros problemas também são levados em conta, além das barreiras regulatórias. Algumas concessionárias alegam que o sistema não seria competitivo, pois, há uma certa instabilidade na rede elétrica, devido às condições anteriormente citadas. Para melhor ilustrar um destes casos, podemos nos basear na interferência causada por aparelhos eletrônicos, tais como secadores de cabelo.

Por fim, definindo-se estas questões, não há nada que possa impedir o sucesso do PLC como “última milha“ pois ele representa o verdadeiro *unbundling*, tão esperado e discutido pelos setores reguladores de serviços. Com todos os esforços feitos por associações de fabricantes e órgãos internacionais, acredita-se que o Brasil esteja muito próximo de entrar para a lista dos países que já o utilizam.

5.2. Padronização

Um dos grandes problemas para a consolidação do PLC no mundo é a falta de padronização. Sem um padrão definido, não há interoperabilidade entre diferentes fabricantes. E, desta forma, uma concessionária de energia que adquirir seus produtos, ficará presa a ele sempre, estando sujeita aos preços aplicados e à não atualização de seus produtos conforme a evolução tecnológica.

Alguns fóruns de discussão, principalmente na Europa, Estados Unidos e Japão, foram criados por fabricantes e concessionárias de energia elétrica para tentar resolver este problema. Em 2000 foi criado o PLCforum [11]. Dele participam 50 membros regulares e 15 convidados permanentes. Deste total, 77% são entidades européias, sendo a maioria constituída por fornecedores de produtos e desenvolvedores de solução.

Em 2002 foi criada a *PLC Utilities Alliance*. É constituída de oito empresas de energia elétrica européias que atuam em 13 países da Europa, totalizando 25 no mundo todo. Apesar do número reduzido de empresas nesta aliança, o fórum possui bastante força pois elas atendem a um mercado de mais de 100 milhões de consumidores.

Por último, temos a *HomePlug PowerLine Alliance*, formada em 2000. Esta aliança é formada em grande parte por fornecedores de produtos e visa basicamente estabelecer uma padronização aberta dos equipamentos PLC de rede interna.

6. Conclusão

A tecnologia PLC já está pronta para ser utilizada, bastando, porém, algumas definições e modelos para que possa ser posta em atividade. Testes estão sendo feitos em campo e em laboratório. Algumas concessionárias de energia têm a rede PLC instalada com a rede “viva“, chegando até a casa do usuário, o que vem de encontro às necessidades e anseios de equalizar o acesso e torná-lo mais barato.

Como aplicações, podemos concluir que a tecnologia PLC pode ser utilizada em diversas áreas, tais como: telefonia IP, canal de retorno para TV digital, telemetria, redes locais, áudio sob demanda, vídeo sob demanda, monitoramento, conferência, entre outros. Enfim, um leque grande de possibilidades se abre para que possamos estender a rede.

Em levantamentos feitos [14], pode-se notar que o custo de implantação não é alto, as modificações a serem feitas na rede são bem pequenas e o usuário final será bastante beneficiado. Podemos definir a rede PLC como “a solução de todos os problemas de acesso”.

7. Referências

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br>, 2005.
- [2] Associação Brasileira de Telecomunicações. <http://www.telebrasil.org.br>, 2005.
- [3] K. H. Zuberi, “Powerline carrier (PLC) communications systems”, Tese de Mestrado, IT-Universitetet, Suécia, setembro de 2003.
- [4] P. Sutterlin e W. Downey, “A power line communication tutorial - challenges and technologies”, Relatório Técnico, Echelon Corporation, 1999.
- [5] N. Kagan, E.J. Robba e C.C.B. Oliveira, “Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica”, Ed. Edgard Blücher, 2005.
- [6] <http://www.homeplug.org>, 2005.
- [7] M. K. Lee, R. E. Newman, H. A. Latchman, S. Katar e L. Yonge, “Homeplug 1.0 powerline communications LANs - protocol description and performance results“, *International Journal of Communication Systems*, vol. 16, no. 5, pp. 447.473, junho de 2003.
- [8] 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.
- [9] S. Gardner, B. Markwalter e L. Yonge, “Homeplug standard brings networking to the home“, *Communication Systems Design Magazine*, dezembro de 2000. <http://www.commsdesign.com/main/2000/12/0012feat5.htm>.
- [10] M. E. M. Campista, P. B. Velloso, L. H. M. K. Costa e O. C. M. B. Duarte, “Uma análise da capacidade de transmissão na rede de energia elétrica domiciliar“, in *XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBT)*, Belém, Brasil, setembro de 2004.
- [11] <http://www.plcforum.org>, 2005.
- [12] <http://www.ascom.com/plc>, 2005.

- [13] <http://www.ds2.es>, 2005.
- [14] W. Liu, H. Widmer e P. Raf_n, “Broadband PLC access systems and field deployment in european power line networks“, *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 5, pp. 114.118, maio de 2003.
- [15] N. Pavlidou, A. J. H. Vinck, J. Yazdani e B. Honary, “Power line communications: State of the art and future trends“, *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 4, pp. 34.40, abril de 2003.
- [16] G. Zsoldos, F. Bal´azs e S. Imre, “Application of effective capacity concept in power line communication environment“, in *International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC)*, Atenas, Grécia, março de 2002.
- [17] K. Begain, M. Ermel, A. Haidine, H. Hrasnica, M. Stantcheva e R. Lehnert, “Modeling of a PLC access network“, in *First Polish-German Teletraffic Symposium (PGTS 2000)*, Dresden, Alemanha, setembro de 2000.
- [18] <http://www.plc-j.org/en/index.htm>, 2005.
- [19] http://www.ebapl.com/en/index_flash.html, 2005.
- [20] C. Eugen e P. Alin, “Power Line Carrier Equipments Line Interface Protection”.
- [21] P. B. Velloso, D. O. Cunha, A. A. Júnior, M. G. Rubenstein e O. C. M. B. Duarte, “Redes Domiciliares: Aplicações, Tecnologias, Desafios e Tendências”, novembro de 2005. <http://www.gta.ufrj.br/publicacoes/>.