

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**RAFAEL LIECHESKI DA SILVA**

**ESTUDO DE CASO DA TECNOLOGIA PLC EM UM AMBIENTE RESIDENCIAL**

**CRICIÚMA, JULHO DE 2008**

**RAFAEL LIECHESKI DA SILVA**

**ESTUDO DE CASO DA TECNOLOGIA PLC EM UM AMBIENTE RESIDENCIAL**

**Trabalho de Conclusão do Curso  
Apresentado para Obtenção do Grau de  
Bacharel em Ciência da Computação da  
Universidade do Extremo Sul Catarinense.**

**Orientador: Prof. Esp. Arildo Sônego**

**CRICIÚMA, JULHO DE 2008**

**RAFAEL LIECHESKI DA SILVA**

## **Estudo de Caso da Tecnologia PLC em um Ambiente Residencial**

Submetido ao corpo docente do Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

---

**Profa. MSc. Ana Claudia Garcia Barbosa**  
Coordenadora do Curso de Ciência da Computação

Banca Examinadora:

---

**Prof. Esp. Arildo Sônego (UNESC)**  
Orientador

---

**Prof. MEng. Evânio Ramos Nicoleit (UNESC)**

---

**Prof. MSc. Paulo João Martins (UNESC)**

Aos meus pais, a minha irmã e  
amigos por entenderem os meus  
objetivos, incentivando-me a  
alcançá-los.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e em muitos momentos foram pontos decisivos para a minha permanência no curso. A minha namorada pelo incentivo, carinho e compreensão que teve ao longo desse caminho. Ao orientador professor e também amigo Arildo Sônego que não media esforços para concretizar este trabalho.

Agradeço a Deus, por ser minha fonte de força, vida e de inspiração para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O objetivo do trabalho é realizar um estudo de caso demonstrando a utilização do PLC (*PowerLine Communication*) em uma ambiente residencial. Sendo esta tecnologia como uma alternativa para conduzir os sinais de dados utilizando uma infra-estrutura elétrica, a mesma foi aplicada em uma rede de energia elétrica residencial. Com isso, foram adquiridos equipamentos PLC *Indoor* para a realização na prática da comunicação de dados em uma residência, sendo verificado a influência da distância, ruídos entre outros aspectos. Dessa forma, ao final dos estudos concluiu-se que a tecnologia apresenta-se como uma solução viável para a propagação do acesso à Internet banda larga.

**Palavras-chaves:** Redes de Computadores, Meios de Transmissão, Banda Larga, PLC (*PowerLine Communication*), Rede Elétrica.

## **ABSTRACT**

The objective is to achieve a case study demonstrating the use of the PLC (PowerLine Communication) in a residential environment. As this technology as an alternative to lead the signs of data using an electric infrastructure, it was applied in a network of residential electricity. With this, were purchased equipment Indoor PLC for the realization in practice of disclosure of information in a residence, and checked the influence of distance, noise among other things. Thus, the end of the studies concluded that the technology presents itself as a viable solution to the spread of Internet access broadband.

**Key-words:** Computer Networking, Means of transmission, Broadband, PLC (PowerLine Communication), Power Network

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Uma rede com dois clientes e um servidor .....   | 22 |
| Figura 2. Topologia em estrela .....   | 23 |
| Figura 3. Topologia em anel .....  | 24 |
| Figura 4. Topologia de barramento .....  | 24 |
| Figura 5. Camadas, protocolos e interface .....  | 27 |
| Figura 6. Modelo de referência de sete camadas da OSI .....  | 28 |
| Figura 7. Arquitetura TCP/IP .....   | 31 |
| Figura 8. Relação entre os padrões IEEE 802 e RM-OSI .....   | 33 |
| Figura 9. Usina Hidrelétrica de Itaipu .....   | 35 |
| Figura 10. Unidade do complexo Termelétrico Jorge Lacerda .....                                      | 35 |
| Figura 11. Usina Nuclear Angra II .....  | 36 |
| Figura 12. Central eólica de Bom Jardim da Serra - SC .....  | 37 |
| Figura 13. Subestação Criciúma I .....   | 40 |
| Figura 14. Transformador (a). Subestação Criciúma I (b) .....  | 40 |
| Figura 15. Divisão dos canais conforme FDM e OFDM .....  | 43 |
| Figura 16. Visão geral da estrutura dos sistemas PLC <i>Indoor</i> e <i>Outdoor</i> .....            | 45 |
| Figura 17. Modem PLC .....   | 47 |
| Figura 18. Cabo de rede (a). Placa de rede conectada ao cabo de rede (b). Adaptador PLC (c)<br>..... | 47 |
| Figura 19. Rede local com o uso de adaptadores <i>ethernet</i> PLC .....                             | 48 |
| Figura 20. Relação dos equipamentos homologados pela ANATEL .....                                    | 49 |
| Figura 21. Interconexões do projeto PLC da Iguazu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda. .          | 51 |
| Figura 22. Relação usuário com operadora de telefonia e provedor de acesso .....                     | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 23. Conexão entre o usuário final e a operadora de telefonia fixa.....                       | 56 |
| Figura 24. Infraestrutura básica de acesso sem fio.....   | 58 |
| Figura 25. Estrutura de acesso via satélite.....  | 60 |
| Figura 26. Conexão à Internet via celular.....  | 61 |
| Figura 27. Estrutura física para acesso móvel à Internet.....                                       | 62 |
| Figura 28. Estrutura física para acesso WI-FI.....  | 63 |
| Figura 29. Estrutura física para acesso Wimax.....  | 63 |
| Figura 30. Estrutura física acesso óptico.....  | 64 |
| Figura 31. Infra-estrutura física do acesso via cabo.....   | 66 |
| Figura 32. Residência dos testes realizados com a tecnologia PLC.....                               | 74 |
| Figura 33. Planta baixa da residência e instalações elétricas.....                                  | 75 |
| Figura 34. Tomada elétrica com suporte a plugues bipolares.....                                     | 75 |
| Figura 35. Estrutura de compartilhamento da Internet via ADSL.....                                  | 77 |
| Figura 36. Modo de compartilhamento de Internet na residência.....                                  | 77 |
| Figura 37. Estrutura de testes PLC na residência.....   | 78 |
| Figura 38. Adaptador PLC conectado a tomada elétrica.....   | 79 |
| Figura 39. Grupo de trabalho e seus respectivos microcomputadores.....                              | 80 |
| Figura 40. Conteúdo da embalagem Trendnet.....  | 82 |
| Figura 41. Utilitário do adaptador PLC Trendnet.....  | 83 |
| Figura 42. Conteúdo da embalagem Plug Fácil.....  | 83 |
| Figura 43. Utilitário do adaptador Naxos.....   | 85 |
| Figura 44. Teste com o comando <i>ping</i> para verificar a conexão da rede PLC <i>Indoor</i> ..... | 86 |
| Figura 45. Taxas de transferência dos adaptadores PLC.....  | 86 |
| Figura 46. Respostas obtidas com o <i>ping</i> e taxas de transferência dos adaptadores PLC.....    | 88 |
| Figura 47. Resultado do teste com o ruído provocado por um forno de microondas.....                 | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 48. Resultado do teste com o ruído provocado por uma secadora de roupas.....        | 90  |
| Figura 49. Resultado do teste com o ruído provocado por um chuveiro elétrico.....          | 91  |
| Figura 50. Resultado do teste com o ruído provocado por um aspirador de pó.....            | 92  |
| Figura 51. Resultado do teste com uma distância de 20 metros entre os adaptadores PLC..... | 94  |
| Figura 52. Adaptador PLC indicando colisão no tráfego de dados.....                        | 96  |
| Figura 53. Adaptador PLC e microcomputador compartilhando a mesma tomada elétrica.....     | 97  |
| Figura 54. Estabilizador da rede elétrica do laboratório de informática.....               | 99  |
| Figura 55. Adaptadores PLC em teste com a rede elétrica estabilizada.....                  | 99  |
| Figura 56. Resultado do teste na rede elétrica estabilizada.....                           | 100 |
| Figura 57. Adaptadores PLC em tomadas com rede elétrica divergentes.....                   | 101 |
| Figura 58. Foto externa do Edifício Orion.....   | 102 |
| Figura 59. Estrutura física do compartilhamento da Internet no apartamento.....            | 103 |
| Figura 60. Conexão com o adaptador PLC no hall do edifício Orion.....                      | 104 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Comparativo entre as tecnologias de acesso.....                        | 67 |
| Tabela 2. Comparativo de tecnologias para uma LAN residencial .....              | 68 |
| Tabela 3. Especificação do adaptador TPL-202E .....                              | 81 |
| Tabela 4. Especificação do adaptador Plug Fácil 56 Mbps.....                     | 81 |
| Tabela 5. Especificação do adaptador Naxos Tecnologia .....                      | 84 |
| Tabela 6. Médias das taxas de transferência obtidas com as distâncias .....      | 94 |
| Tabela 7. Médias das taxas de transferência obtidas com distâncias e ruídos..... | 95 |

## LISTA DE SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ADSL    | <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>   |
| ANATEL  | Agência Nacional de Telecomunicações  |
| APTEL   | Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações |
| ARPA    | <i>Advanced Research and Projects Agency</i>  |
| CELG    | Centrais Elétricas de Goiás S.A.  |
| CEMAR   | Companhia Energética do Maranhão  |
| CEMIG   | Companhia Energética de Minas Gerais  |
| COPEL   | Companhia Paranaense de Energia   |
| CPE     | <i>Customer Premise Equipament</i>  |
| CDMA    | <i>Carrier Sense Multiple Access</i>  |
| CSMA/CD | <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i>                                   |
| EDGE    | <i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>  |
| ERB     | Estação Rádio Base  |
| DES     | <i>Data Encryption Standard</i>   |
| DPL     | <i>Digital Powerline</i>  |
| DSL     | <i>Digital Subscriber Line</i>  |
| FAPESP  | Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo   |
| FCC     | <i>Federal Communications Commission</i>  |
| FDM     | <i>Frequency Division Multiplexing</i>  |
| FTP     | <i>File Transfer Protocol</i>   |
| GCOI    | Grupo Coordenador para Operação Interligada   |
| GHZ     | <i>Gigahertz</i>  |

|        |  |
|--------|--|
| GPRS   | <i>General Packet Radio Services</i>                                   |
| GSM    | <i>Global System for Mobile Communications</i>                         |
| IEEE   | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>               |
| IP     | <i>Internet Protocol</i>   |
| ISO    | <i>Internacional Organization for Standardization</i>                  |
| KBPS   | <i>Kilobits por segundo</i>  |
| LAN    | <i>Local Area Network</i>  |
| LED    | <i>Light Emitting Diode</i>  |
| LIGHT  | <i>Companhia Energética do Rio de Janeiro</i>                          |
| LLC    | <i>Logical Link Control</i>  |
| LNCC   | <i>Laboratório Nacional de Computação Científica do Rio de Janeiro</i> |
| MAC    | <i>Medium Access Control</i>   |
| MAN    | <i>Metropolitan Area Network</i>                                       |
| MBPS   | <i>Megabits por segundo</i>  |
| MHZ    | <i>Megahertz</i>   |
| NSFNET | <i>National Science Foundation</i>                                     |
| OFDM   | <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>                      |
| OPLAT  | <i>Onda Portadora de Alta Tensão</i>                                   |
| PING   | <i>Packet Internet Grouper</i>   |
| PLC    | <i>PowerLine Communication</i>   |
| PUK    | <i>PIN Unblocking Key</i>  |
| RFI    | <i>Radio Frequency Interference</i>                                    |
| RJ-45  | <i>Registered Jacks-45</i>   |
| RM-OSI | <i>Reference Model Open Systems Interconnection</i>                    |
| SMTP   | <i>Simple Mail Transfer Protocol</i>                                   |

|         |  |
|---------|--|
| TCP     | <i>Transmission Control Protocol</i>                   |
| UFRJ    | Universidade Federal do Rio de Janeiro                 |
| USB     | <i>Universal Serial Bus</i>                            |
| UTP     | <i>Unshielded Twisted Pair</i>                         |
| WAN     | <i>Wide Area Networks</i>                              |
| WI-FI   | <i>Wireless Fidelity</i>                               |
| Wimax   | <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> |
| WWW     | <i>World Wide Web</i>                                  |
| 1xEV-DO | <i>1x Evolution-Data Only</i>                          |
| 1xEV-DV | <i>1x Evolution-Data and Voice</i>                     |
| 1xRTT   | <i>1xRadio Transmission Technology</i>                 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>18</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....  | 19        |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                     | 19        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....   | 20        |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                     | 21        |
| <b>2 REDES DE COMPUTADORES.....</b>                                 | <b>22</b> |
| 2.1 TOPOLOGIAS DE REDE.....   | 23        |
| 2.2 ABRANGÊNCIA DE REDES .....                                      | 25        |
| 2.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO.....                                   | 26        |
| 2.4 RM-OSI .....  | 27        |
| 2.5 ARQUITETURA TCP/IP.....   | 30        |
| 2.6 INTERNET.....   | 32        |
| 2.7 IEEE 802.....   | 33        |
| <b>3 ENERGIA ELÉTRICA.....</b>                                      | <b>34</b> |
| 3.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....                              | 34        |
| 3.2 TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....                            | 38        |
| 3.3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....                  | 39        |
| <b>4 A TECNOLOGIA PLC.....</b>                                      | <b>41</b> |
| 4.1 MODULAÇÃO DE SINAIS .....                                       | 42        |
| <b>4.1.1 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>.....</b> | <b>43</b> |
| <b>4.1.2 <i>Spread-Spectrum</i> .....</b>                           | <b>44</b> |
| 4.2 SISTEMAS DE ACESSO PLC .....                                    | 44        |
| <b>4.2.1 Sistema PLC <i>Outdoor</i> .....</b>                       | <b>45</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.2.2 Sistema PLC Indoor .....</b>   | <b>46</b> |
| 4.3 REGULAMENTAÇÃO E PADRONIZAÇÃO.....  | 48        |
| 4.4 SITUAÇÃO DA TECNOLOGIA PLC NO MUNDO E BRASIL.....   | 50        |
| 4.5 VANTAGENS DA TECNOLOGIA PLC .....   | 51        |
| 4.6 DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA PLC.....   | 52        |
| 4.7 CUSTO PARA IMPLEMENTAR UM SISTEMA PLC <i>INDOOR</i> .....   | 53        |
| <b>5 MEIOS DE ACESSO À INTERNET.....</b>  | <b>54</b> |
| 5.1 ACESSO DISCADO .....  | 54        |
| 5.2 ACESSO VIA ADSL.....  | 56        |
| 5.3 ACESSO SEM FIO .....  | 57        |
| <b>5.3.1 Acesso via rádio.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>5.3.2 Acesso via satélite.....</b>   | <b>59</b> |
| <b>5.3.3 Acesso móvel.....</b>  | <b>60</b> |
| 5.4 ACESSO VIA ETHERNET ÓPTICO .....  | 64        |
| 5.5 ACESSO VIA CABO .....   | 65        |
| 5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS DAS TECNOLOGIAS.....   | 66        |
| <b>6 TRABALHOS CORRELATOS .....</b>   | <b>70</b> |
| 6.1 ESTUDO SOBRE COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA PARA<br>APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL/PREDIAL ..... | 70        |
| 6.2 PLC – POWER LINE COMMUNICATIONS.....  | 70        |
| 6.3 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO PLC IN HOME .....  | 71        |
| 6.4 ABRANGÊNCIA DA TECNOLOGIA PLC .....   | 71        |
| 6.5 ANÁLISE DA TRANSMISSÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA DE BAIXA<br>TENSÃO.....                                     | 72        |
| <b>7 CASO DE USO DA TECNOLOGIA PLC .....</b>  | <b>73</b> |

|  |     |
|--|-----|
| 7.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL UTILIZADO NO ESTUDO DO PLC .....                      | 74  |
| 7.2 IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA PLC NA RESIDÊNCIA.....                         | 78  |
| 7.3 ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS PLC UTILIZADOS NA RESIDÊNCIA ..          | 81  |
| 7.4 TESTES REALIZADOS COM O PLC <i>INDOOR</i> .....                          | 85  |
| 7.4.1 Uso do PLC <i>Indoor</i> com fontes geradoras de ruídos .....          | 87  |
| 7.4.2 Uso do PLC <i>Indoor</i> com aplicação da distância.....               | 93  |
| 7.4.3 Uso do PLC <i>Indoor</i> com aplicação de obstáculos.....              | 96  |
| 7.4.4 Utilização do PLC <i>Indoor</i> em uma rede elétrica estabilizada..... | 98  |
| 7.4.5 Comportamento do PLC <i>Indoor</i> em rede elétrica predial .....      | 101 |
| 7.4.6 Segurança na rede PLC <i>Indoor</i> .....                              | 104 |
| CONCLUSÃO.....   | 106 |
| REFERÊNCIAS .....  | 109 |
| APÊNDICE A - TABELA COMPARATIVA DE CUSTOS <i>INDOOR</i> .....                | 114 |
| APÊNDICE B - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 2 METROS.....                   | 115 |
| APÊNDICE C - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 7 METROS .....                  | 116 |
| APÊNDICE E - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 20 METROS.....                  | 117 |
| APÊNDICE E - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 2 METROS COM<br>RUÍDOS.....     | 118 |
| APÊNDICE F - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 7 METROS COM<br>RUÍDOS.....     | 119 |
| APÊNDICE G - TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 20 METROS COM<br>RUÍDOS.....    | 120 |
| APÊNDICE H - ARTIGO SOBRE O TRABALHO.....                                    | 121 |

## 1 INTRODUÇÃO

O *PowerLine Communication* (PLC) é uma tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica com o propósito de realizar a comunicação de dados. Desta maneira, as redes de distribuição elétrica são utilizadas como meio de transmissão para a transferência de informações entre os componentes da rede de computadores (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

O PLC utiliza a mesma rede elétrica onde estão conectados os consumidores, ou seja, a rede de distribuição secundária, com capacidade de conectar alguns quarteirões por circuito e com baixo investimento para os consumidores, pois as próprias tomadas de energia elétrica serão os pontos de entrada e saída de dados (CORRÊA, 2004).

Com isso, pode-se aplicá-lo em infra-estruturas de energia elétrica de edifícios ou residências permitindo o tráfego de dados em uma rede local construída com o PLC.

O foco desta nova tecnologia é o acesso à Internet em banda larga disponibilizando ao usuário conexões que podem chegar a 200 Mbps com equipamentos de terceira geração do PLC, possibilitando os seguintes serviços: acesso em banda larga à Internet, vídeo sob demanda, telefonia IP, serviços de vigilância, serviços de monitoramento de trânsito, automação residencial, entre outros (CORRÊA, 2004).

Conseqüentemente, com o aproveitamento da infra-estrutura existente e com o uso da tecnologia PLC, as empresas de distribuição de energia elétrica poderão oferecer mais uma opção aos consumidores atingindo regiões mais distantes, isto porque, conforme Jatobá (2007) as tecnologias de acesso à banda larga disponíveis para os consumidores estão restritas às grandes cidades, porém mesmo nestas o acesso não é disponibilizado em todas as localidades. Outrossim, o PLC torna-se mais uma solução de conectividade para

consumidores de edifícios ou residências onde não existe a estrutura física para a passagem do cabeamento tradicional de uma rede de computadores.

Sendo assim, o presente trabalho verificou a possibilidade de aplicação da tecnologia PLC na comunicação de dados em banda larga, comparando-a às tecnologias atualmente em uso no mercado regional, verificando custos financeiros, necessidades técnicas e estruturais para sua implantação em uma casa.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Descrever e demonstrar a utilização do PLC em um ambiente residencial.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) abranger conceitos relativos às redes de computadores;
- b) compreender a tecnologia PLC;
- c) entender o funcionamento básico da rede de distribuição de energia elétrica residencial;
- d) comparar o PLC com as atuais tecnologias de comunicação de dados;
- e) verificar o processo de regulamentação do PLC no exterior e no Brasil;
- f) produzir um levantamento de custo para a aplicação do PLC em uma residência;
- g) exemplificar casos onde foi aplicada esta tecnologia como solução de conectividade;
- h) realizar testes de funcionamento da tecnologia PLC *Indoor*.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Hrasnica, Haidine e Lehnert (2004) a tecnologia PLC utiliza a rede de energia elétrica para realizar a transferência de dados, podendo ser aplicada em edifícios ou residências onde as instalações elétricas internas tornar-se-ão uma rede local de comunicação.

Desta forma, o PLC possibilita que regiões distantes dos centros urbanos utilizem este meio de transferência de dados de alta velocidade, aumentando a funcionalidade do sistema de transmissão e de distribuição elétrica tornando o mesmo um canal de transporte de dados, conseqüentemente diminuindo as barreiras dos meios de conectividade.

Isto porque, com o aumento da procura por serviços de comunicações e com a falta de infra-estrutura física de telecomunicações para levar os sinais de transmissão de dados até o consumidor final, a tecnologia PLC tende a suprir essa demanda.

Logo, serviços como acesso à banda larga, vídeo sob demanda, automação residencial, serviços de vigilância, entre outros poderão ser oferecidos pelas empresas de distribuição de energia elétrica, sendo o PLC futuramente mais uma opção para consumidores brasileiros como meio de transferência de dados.

Além disso, esses tipos de serviços já estão em uso comercial no exterior em países da Europa, Leste Europeu, Ásia e América Latina, com conexões banda larga via PLC. No Brasil, as empresas de fornecimento de energia elétrica como a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e Iguazu Energia de Santa Catarina estão finalizando seus projetos pilotos (VARGAS, 2004).

Por conseguinte, este projeto visa o estudo de caso da tecnologia do PLC na comunicação de dados utilizando a rede de energia elétrica de baixa tensão. Outrossim, este projeto poderá auxiliar como fonte de pesquisa no âmbito da transferência de sinais de dados

para trabalhos futuros, pois existe a dificuldade em encontrar material bibliográfico sobre o assunto. Neste sentido, a área de redes de computadores será beneficiada com esta pesquisa.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O objetivo do trabalho de pesquisa é desenvolver um estudo da comunicação de dados utilizando a infra-estrutura da rede de energia elétrica residencial com o uso da tecnologia PLC, verificando a sua viabilidade com a aplicação de equipamentos específicos no que se refere a finalidade. Dessa forma, o trabalho está organizado em sete capítulos, incluindo a introdução, o desenvolvimento do mesmo e a conclusão.

O Capítulo 2 aborda as redes de computadores apresentando conceitos para a sua formação. O Capítulo seguinte mostra termos referentes à energia elétrica a nível nacional que vão desde a sua produção até o fornecimento ao usuário final. O Capítulo 4 tem como objetivo explicar a tecnologia PLC, apresentando as modulações de sinais utilizadas, os sistemas *Outdoor* e *Indoor*, questões referentes à regulamentação e padronização da tecnologia entre outros itens. O próximo Capítulo apresenta os meios de acessos disponíveis ou em fase de estudos (no momento da escrita, estão em análise) para possibilitar a navegação na WWW e levantamento de custo de cada uma das tecnologias analisadas.

O Capítulo 7 mostra o caso de uso com a tecnologia PLC e o estudo da comunicação de dados via rede de energia elétrica residencial realizada por meio da utilização de adaptadores PLC.

## 2 REDES DE COMPUTADORES

Uma rede de computadores é formada por um conjunto de dispositivos que sejam capazes de realizar troca de informações e compartilhar recursos onde exista algum tipo de comunicação (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Desta maneira fica evidenciado a existência de rede de computadores em vários locais facilitando o trabalho de muitas empresas como, por exemplo, um banco que possui diversos caixas eletrônicos. Esses terminais são computadores que estão conectados a um computador central contendo as informações bancárias, onde o cliente a qualquer momento poderá consultá-las (TORRES, 2001).

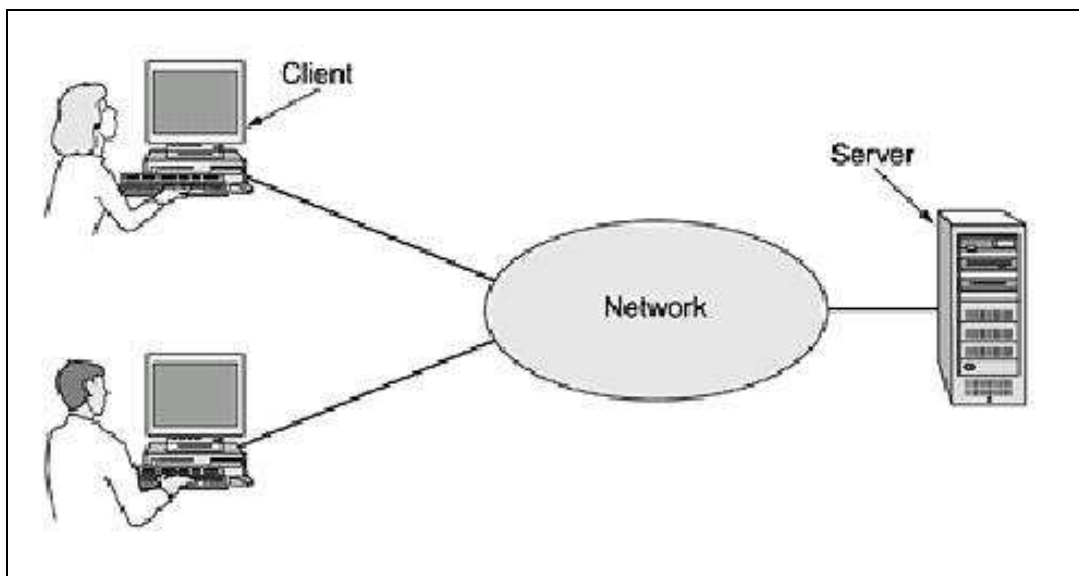


Figura 1. Uma rede com dois clientes e um servidor  
Fonte: TANENBAUM, A. (2003)

Com isso, com o encontro das tecnologias de comunicação e processamento possibilitou a troca de informações entre computadores localizados em extremos geográficos, aumentando o poder dos sistemas computacionais (LIMA JUNIOR, 2002).

## 2.1 TOPOLOGIAS DE REDE

As tecnologias se diferem umas das outras, por meio da caracterização de cada fator como tipo, eficiência e velocidade. Assim, a maneira como os dispositivos estão conectados em uma rede de computadores é o que irá determinar a sua topologia, destacando as três mais utilizadas conhecidas como topologia em estrela, anel e barramento (LIMA JUNIOR, 2002).

A topologia em estrela, conforme a Figura 2, caracteriza-se pelo fato de haver um ponto central de interligação onde todos os microcomputadores estão conectados, utilizando esse meio para a troca de informações (COMER, 2001).

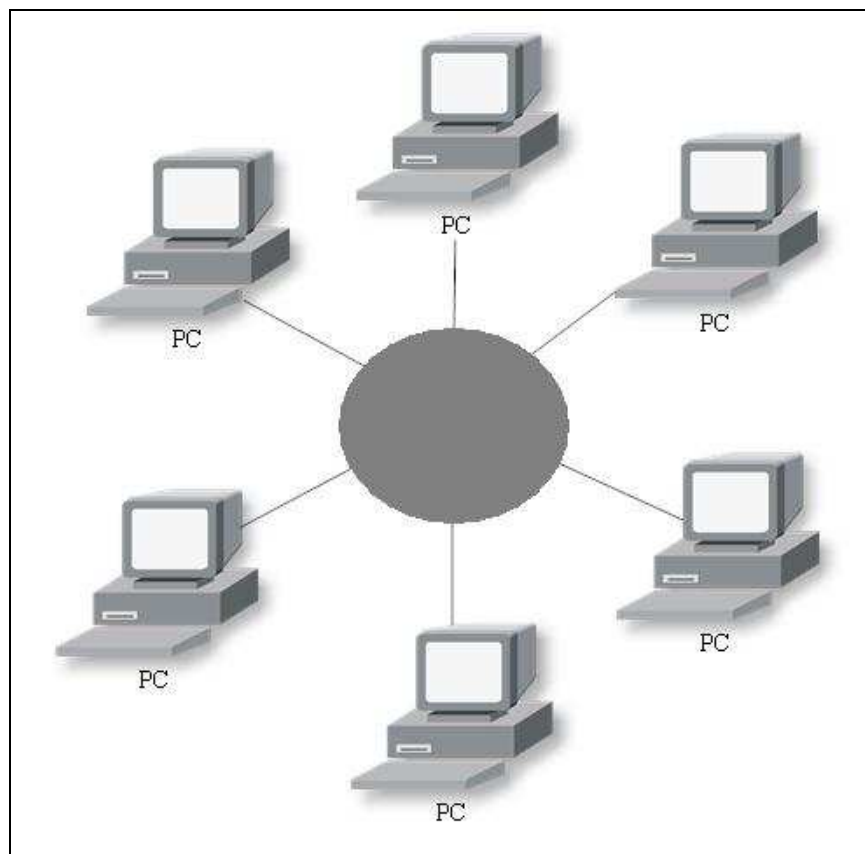


Figura 2. Topologia em estrela  
Fonte: COMER, D. (2001)

No entanto, na topologia em anel as estações são conectadas por um cabo que parte do primeiro microcomputador conectando no segundo, o segundo computador conecta-se ao terceiro por meio de outro cabo e assim sucessivamente até que o primeiro computador

que iniciou a rede torna-se o último a ser conectado, criando um caminho fechado organizado em círculo conforme ilustrado na Figura 3 (TANENBAUM, 2003).

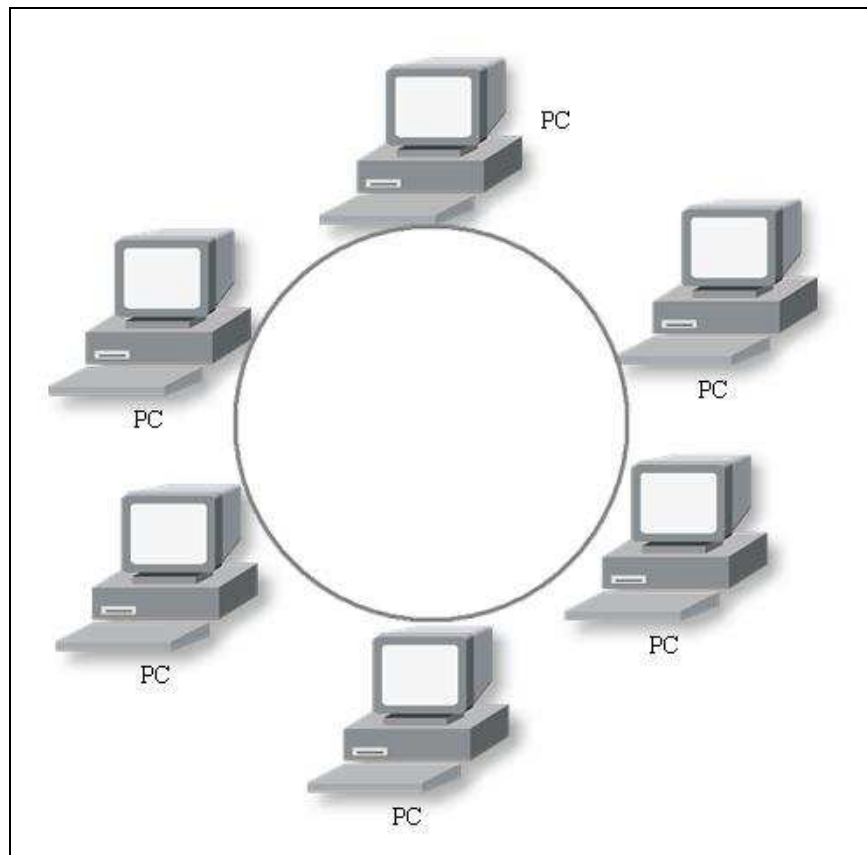


Figura 3. Topologia em anel  
Fonte: COMER, D. (2001)

Em contrapartida, a topologia de barramento resume-se em um único cabo compartilhado com todos os computadores no qual se conectam conforme ilustrado na Figura 4, onde qualquer computador pode enviar um sinal que será recebido pelos demais. Entretanto, somente um microcomputador por vez poderá enviar o sinal onde os demais aguardam a sua chance evitando assim desordem na rede (ZACKER; DOYLE, 2000).

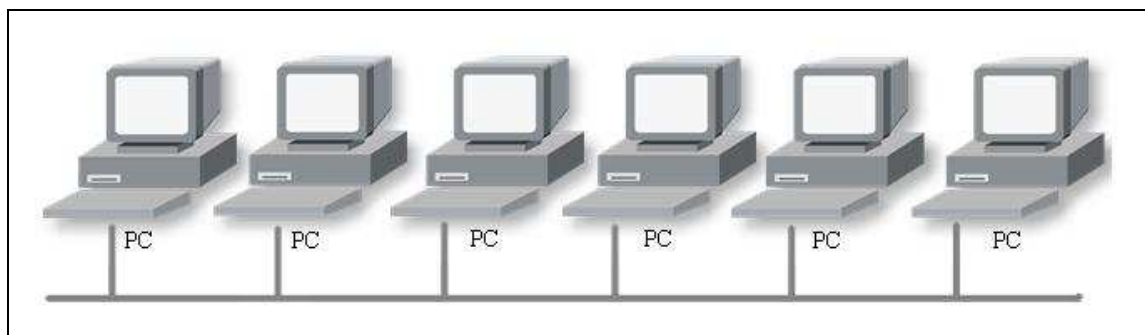


Figura 4. Topologia de barramento  
Fonte: COMER, D. (2001)

Logo, os tipos de topologias dar-se-ão pelo modo como a rede será projetada a fim de determinar caminhos físicos existentes entre as estações que serão interligadas (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995).

## 2.2 ABRANGÊNCIA DE REDES

As redes de computadores permitiram a troca de informações tanto por usuários domésticos como usuários corporativos. Isto porque, novas tecnologias foram desenvolvidas ao longo do tempo possibilitando o compartilhamento de recursos entre redes distintas de maneira confiável e robusta (ZACKER; DOYLE, 2000). Logo, essas redes podem ser classificadas como redes LAN, MAN e WAN (TANENBAUM, 2003).

As redes *Local Area Network* (LAN) ou redes locais são redes do tipo privada mantidas em limites de um prédio ou uma universidade com poucos quilômetros de extensão (entre 100 m a 25 km e possuem altas taxas de transmissão e baixas taxas de erros) e que são usadas para conectar computadores, compartilhar recursos e trocar informações (TANENBAUM, 2003). O aparecimento das redes locais ocorreu nos ambientes de institutos de pesquisas e universidades para realizar a troca e compartilhamento de informações, recursos de hardware e software, mantendo as estações de processamento livre para outros trabalhos (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995).

Quando a extensão da rede para conectar computadores atinge áreas metropolitanas, esse tipo qualifica-se de *Metropolitan Area Network* (MAN) ou redes metropolitanas (LIMA JUNIOR, 2002). Logo, MAN é uma rede que cobre distâncias maiores que as redes LAN e com velocidades superiores (ZACKER; DOYLE, 2000).

Redes geograficamente distribuídas ou *Wide Area Network* (WAN) consistem em cobrir distâncias entre outros estados ou países com a finalidade de executar aplicações de

usuários espalhados geograficamente (LIMA JUNIOR, 2002). Entretanto, são redes que possuem um elevado custo de comunicação, que em geral são do tipo públicas e chamadas de sub-rede de comunicação por possuir enlaces de microondas, circuitos para satélites e roteadores por onde os dados são transmitidos (TANENBAUM, 2003).

### 2.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Para que ocorra o controle na comunicação entre dois computadores, por exemplo, é necessário que se cumpra um conjunto de regras e especificações. Para isso, foi denominado o protocolo de comunicação para tornar coerente a comunicação entre os computadores de uma rede. Assim, caso alguma regra do protocolo não seja cumprida, a comunicação não será reconhecida pelo outro computador (ZACKER; DOYLE, 2000).

Além disso, o protocolo possui informações dos endereços dos computadores que abrangem a comunicação, identificando-os e tornando possível a troca de informações entre os computadores na rede a qual estão localizados. O protocolo também é responsável pelo tratamento de outros problemas de comunicação como detecção e correção dos erros de transmissão de informações, controle de prioridades e fluxo de dados e o estabelecimento de conexões e desconexões (LIMA JUNIOR, 2002).

Entretanto, um único protocolo torná-lo-ia complexo para realizar todas as regras e especificações. Assim, essas regras e especificações foram divididas formando sub-partes ou camadas de protocolos, onde conseqüentemente cada uma delas corresponde a um tratamento do problema de comunicação. Logo, cada camada resolverá uma parte do problema de comunicação, onde em conjunto solucionarão o problema de como um todo (COMER, 2001).

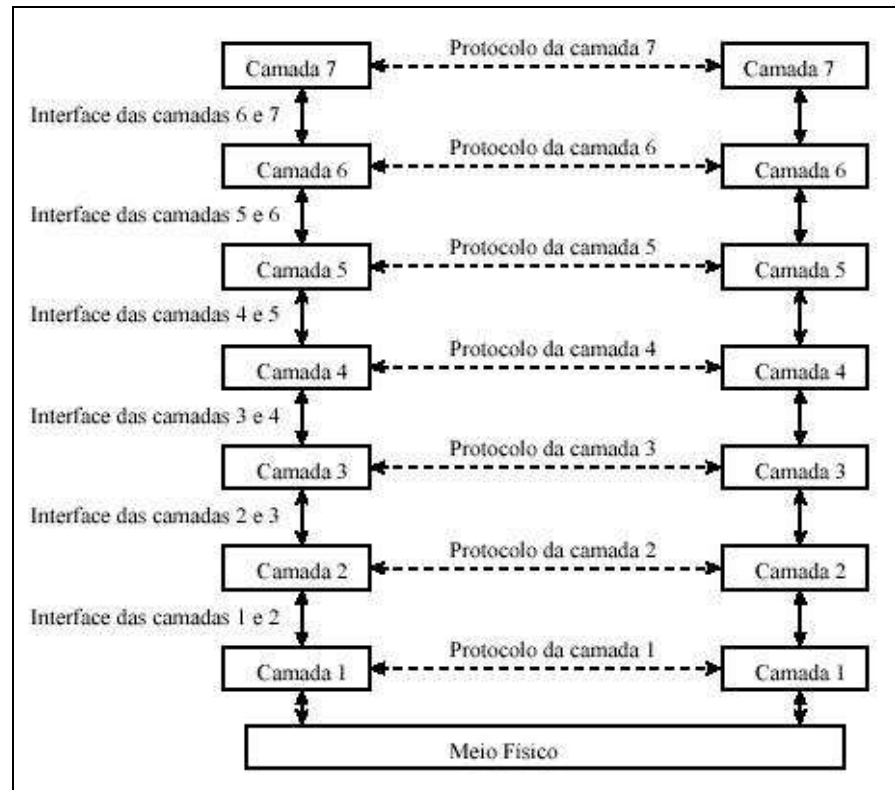


Figura 5. Camadas, protocolos e interface

Fonte: SOARES, L.; LEMOS, G.; COLCHER, S. (1995)

Desta forma, a Figura 5 apresenta a divisão em camadas dos protocolos de comunicação que está definida pela *International Organization for Standardization* (ISO) como RM-OSI (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995).

A seguir serão explanadas essas camadas do RM-OSI, porém com considerações apenas conceituais sobre as mesmas.

## 2.4 RM-OSI

Este modelo desenvolvido pela *International Standards Organization* (ISO) denominado *Reference Model Open Systems Interconnection* (RM-OSI) teve como proposta fornecer direção à padronização internacional dos protocolos utilizados nas camadas (TANENBAUM, 2003). O modelo OSI é a forma de desenvolvimento coordenado de padrões para interconexão de informações entre sistemas abertos e sugere melhorias dos padrões de

comunicação. Porém, sem a intenção de tornar essa padronização um apontamento para o desenvolvimento, manutenção ou detalhamento de serviços e protocolos da arquitetura determinada. Isto porque, o modelo OSI não determina o que deve conter de serviços e protocolos corretos em cada camada, especificando apenas o que cada uma das camadas deve fazer (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995).

Logo, segundo Comer (2001) o modelo de referência de sete camadas foi exposto pela OSI, ilustrado conforme Figura 6 e explanados em seguida:

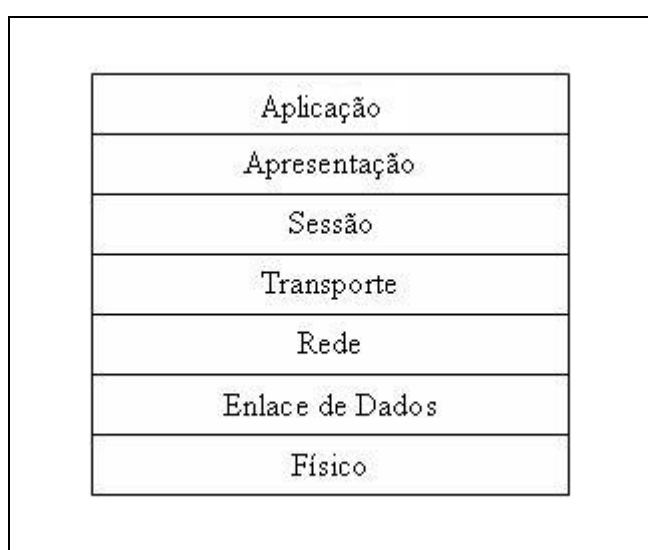


Figura 6. Modelo de referência de sete camadas da OSI  
Fonte: ZACKER, C.; DOYLE, P. (2000)

- a) **nível físico - camada 1:** refere-se às particularidades mecânicas, elétricas, funcionais e de procedimentos de um canal de transmissão para que possa ser realizado o envio de bits de um lado e o recebimento no outro lado, não importando o seu significado ou a forma de agrupamento (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Logo, é a camada que se adéqua ao hardware de rede básico (COMER, 2001);
- b) **nível de enlace de dados – camada 2:** essa camada destina-se a detectar e optar pela correção de erros que poderão ocorrer no nível físico, transformando o canal de transmissão confiável para o nível de rede (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Por conseguinte, o envio dos dados é

organizado pela divisão dos dados em forma de quadros e transmitindo-os seqüencialmente pela rede (TANENBAUM, 2003);

- c) **nível de rede – camada 3:** conforme Comer (2001), os protocolos dessa camada determinam como os endereços são concedidos e como os pacotes são roteados da origem até o destino. Além disso, esta camada tem a função de controlar todo o fluxo de pacotes em uma rede, evitando que o canal de transmissão torne-se um funil, mantendo a qualidade do serviço e interconectando redes heterogêneas (TANENBAUM, 2003);
- d) **nível de transporte – camada 4:** esse nível trata da comunicação fim-a-fim garantindo que pacotes do nível de rede cheguem corretamente ao destino final e isolando a parte de transmissão da rede dos níveis superiores (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Assim, os protocolos desse nível são considerados complexos pelo fato de como tratam uma transmissão, tornando-a confiável (COMER, 2001);
- e) **nível de sessão – camada 5:** o nível de sessão permite estabelecer uma conexão com um sistema remoto por meio de autenticação do usuário (COMER, 2001). Além disso, esta camada possui o serviço de gerenciamento de tráfego permitindo o tráfego nos dois sentidos ao mesmo tempo ou não, gerenciamento de *token* para não permitir que os dois lados trabalhem juntos na mesma operação, onde o lado que mantém o *token* é que pode executar a operação, e serviço de sincronismo para evitar que a transmissão de dados após uma falha reinicie do ponto inicial da transferência e sim a partir do ponto onde ocorreu a falha (TANENBAUM, 1997);
- f) **nível de apresentação – camada 6:** essa camada torna-se necessária para que arquiteturas de diferentes tipos de computadores se comuniquem por uma

rede, pois cada uma tem sua forma de representar os dados (inteiros e caracteres), tornando o nível de apresentação indispensável para traduzir essa representação (COMER, 2001). Assim, conforme Soares, Lemos e Colcher (1995) são serviços como transformação de dados, formatação de dados, seleção de sintaxes e estabelecimento e manutenção de conexões de apresentação propostos por esta camada;

- g) **nível de aplicação – camada 7:** refere-se ao tratamento de incompatibilidade de diferentes tipos de aplicativos que utilizam a rede, como por exemplo correio eletrônico e pesquisa de diretórios (TANENBAUM, 1997).

## 2.5 ARQUITETURA TCP/IP

O protocolo TCP/IP permite efetuar a comunicação entre computadores conectados em rede, obtendo um serviço confiável de transmissão de dados até o destino correto (LIMA JUNIOR, 2002).

Por essa razão, o modelo TCP/IP destaca a sua importância na interligação de diferentes redes e suas tecnologias, permitindo que um grande número de usuários conectados em diferentes pontos geográficos possam trocar informações formando uma inter-rede (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). O *Transmission Control Protocol* (TCP) efetua o controle da transmissão dos dados para que estes cheguem ao destino correto e o *Internet Protocol* (IP) apenas conduz os dados do computador de origem ao destino definindo caminhos a serem percorridos em outras redes (LIMA JUNIOR, 2002). Esta arquitetura conforme Tanenbaum (2003) está organizado em quatro camadas ilustrado na Figura 7 e explanados a seguir como:

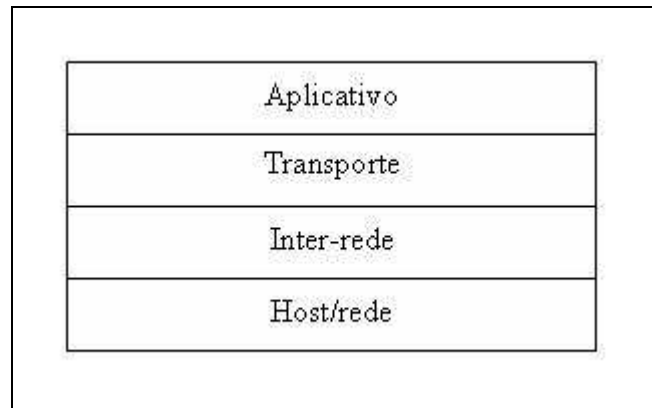


Figura 7. Arquitetura TCP/IP  
 Fonte: TANENBAUM, A. (2003)

- a) **nível *host/rede* – camada 1:** conecta-se à rede utilizando algum protocolo para que o *host* envie pacotes IP, onde esta camada tem o mesmo valor das camadas 1 e 2 do modelo OSI (TORRES, 2001);
- b) **nível *inter-rede* – camada 2:** permite transmitir pacotes de dados em qualquer rede por meio de roteadores até o destino final (COMER, 2001);
- c) **nível de transporte – camada 3:** identicamente ao modelo OSI, assegurando o envio dos dados na transmissão até o destino final (TANENBAUM, 2003);
- d) **nível de aplicativo – camada 4:** contém os protocolos de nível mais alto como por exemplo: protocolo de terminal remoto (TELNET), de transferência de arquivos (FTP), correio eletrônico (SMTP) entre outros que são utilizados em aplicações da Internet (LIMA JUNIOR, 2002) .

Logo, o protocolo TCP/IP é largamente utilizado em redes de computadores pela viabilidade dos caminhos de redes de comunicação que ele pode tomar para conduzir os dados ao destino final. Além disso, o TCP/IP é um protocolo que possibilita a comunicação entre computadores de arquiteturas diferentes sem dificuldades (TORRES, 2001).

## 2.6 INTERNET

Conseqüentemente, os princípios da Internet estão baseados no modelo de referência TCP/IP, possibilitando o surgimento de um serviço universal. Deste modo, o crescimento da Internet ocorreu na medida em que novas tecnologias de comunicação de longo alcance foram interligando computadores de todas as partes do mundo, permitindo-os executarem protocolos TCP/IP, possuindo endereços IP para enviar pacotes IP à outras máquinas da Internet tornando-a uma rede pública (TANENBAUM, 2003).

A Internet originou-se do projeto militar *Advanced Research and Projects Agency* (ARPA) que tinha como objetivo conectar computadores das Universidades dos Estados Unidos, anteriormente chamada de ARPANET no ano de 1970. No entanto, passou a ser chamada de Internet entre os anos de 1985 e 1986 quando houve a interligação da rede *National Science Foundation* (NSFNET) com a ARPANET, onde o protocolo TCP/IP já estava presente em sistemas operacionais *UNIX*. Entretanto, o Brasil conectou-se a Internet em 1988 trazida pelo Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e do Laboratório Nacional de Computação Científica do Rio de Janeiro (LNCC) (LIMA JUNIOR, 2002).

Assim, a Internet cresceu significativamente a partir de 1990 com o aparecimento da *World Wide Web* (WWW) usada largamente por milhões de usuários em várias empresas e lares de todos os lugares do mundo, onde conseqüentemente aplicações e serviços em tempo real de todos os tipos foram disponibilizados para os usuários. Por isso, as redes de comunicação estão hoje em constante evolução, tornando a Internet mais ágil por meio de transmissão de alta velocidade via modem a cabo ou *DSL* a usuários residenciais e empresariais com o custo para sua aplicação reduzida (KUROSE; ROSS, 2006).

## 2.7 IEEE 802

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define padrões para as áreas de engenharia elétrica e da informática utilizada em redes locais LAN. Esses padrões são conhecidos como ISO 8802 elaborados por um comitê chamado de 802 composto de engenheiros, cientistas e estudantes (TANENBAUM, 1997). Além disso, a arquitetura desse modelo divide-se em três camadas correspondente aos níveis 1 e 2 do modelo OSI conforme a Figura 8 (TORRES, 2001).

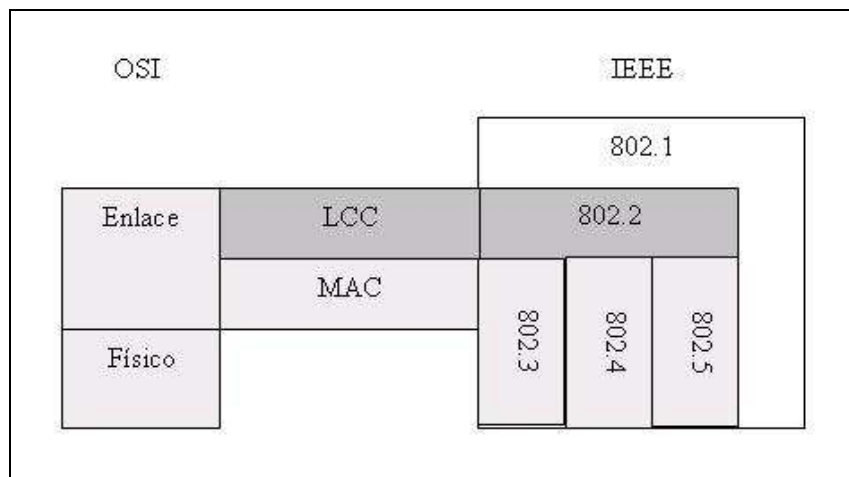


Figura 8. Relação entre os padrões IEEE 802 e RM-OSI  
Fonte: TORRES, G. (2001)

Assim, o padrão 802.1 é a parte conceitual do grupo de padrões e determina os princípios da *interface*. O padrão 802.2 conceitua a subcamada superior do nível de enlace utilizando o protocolo *Logical Link Control* (LLC) e os demais pertencem ao protocolo da subcamada chamada *Medium Access Control* (MAC) que compreende o nível físico das tecnologias de redes locais (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Desta forma, é determinado uma numeração de padronização para cada MAC como por exemplo, o padrão 802.3 para acesso *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* (CSMA/CD), o 802.4 especifica a comunicação de redes em barramento, o 802.5 distingue redes em anel e assim continuamente (MOTOYAMA, 2004).

### 3 ENERGIA ELÉTRICA

A energia, independentemente da sua forma, tornou-se absolutamente necessária para a evolução humana. Para isso, foi essencial descobrir fontes e modos alternativos de ajustamento às condições do meio ambiente para melhor aproveitamento às suas necessidades. Dessa forma, a energia elétrica possui várias qualidades contribuindo para o crescimento humano por meio dos avanços tecnológicos de geração, transmissão e consumo pelo usuário final. Conseqüentemente, as tecnologias permitem que regiões de várias partes do mundo antes isoladas, beneficiem-se com os recursos elétricos fornecidos (ANEEL, 2005).

Assim, para que a energia elétrica seja utilizada em várias regiões faz-se necessário que após sua geração a mesma seja transportada em altas tensões para longas distâncias pelos condutores elétricos, distribuída em lares, comércio, indústrias entre outros (CAVALIN; CERVELIN, 2005).

#### 3.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica pode ser produzida basicamente por meio de usinas hidrelétricas, termelétrica, nuclear e eólica. No Brasil a energia elétrica é gerada de fontes hidrotérmicas, com predomínio das usinas hidrelétricas (ANEEL, 2005).

As usinas hidrelétricas possuem uma grande área de captação onde é armazenada a água das chuvas ou rios que serão conseqüentemente utilizadas para a produção da energia. Dessa maneira, a água armazenada é transportada até as turbinas da usina que posteriormente entrarão em movimento produzindo a energia elétrica (SAY, 2004), conforme Figura 9.



Figura 9. Usina Hidrelétrica de Itaipu  
Fonte: ANEEL (2005)

Logo, a produção de energia elétrica por meio das usinas hidrelétricas impulsionou o desenvolvimento do Brasil, atendendo várias atividades econômicas, sociais e integrando regiões distantes dos grandes centros urbanos (ANEEL, 2005).

No entanto, outra possibilidade para a produção de energia elétrica consiste em utilizar combustíveis sólidos, líquidos e gasosos associados a outros vapores para transformar a energia calorífica em energia mecânica e conseqüentemente em energia elétrica (BOSSI; SESTO, 2002).



Figura 10. Unidade do complexo Termelétrico Jorge Lacerda  
Fonte: ANEEL (2005)

Essa forma de produção é realizada por usinas termelétricas, efetuando a queima desses combustíveis por meio de caldeiras, turbinas e motores de combustão interna. No Brasil, a produção de energia elétrica utilizando usinas termelétricas é significativamente pequena em relação as hidrelétricas, mas de grande importância no atendimento de picos do sistema elétrico e fornecimento para regiões que não fazem parte ao sistema interligado (ANEEL, 2005).

Do mesmo modo, baseadas de maneira geral dos princípios das termelétricas estão as usinas nucleares, onde a fonte de calor não está relacionada com a queima do combustível tradicional e sim por uma reação nuclear para a produção de energia elétrica (BOSSI; SESTO, 2002). O processo de fabricação de energia elétrica por meio da usina nuclear é similar ao da usina termelétrica. Dessa maneira, o calor produzido pela fissão do urânio no reator forma vapor, que logo aciona uma turbina provocando o movimento do gerador de corrente elétrica (ELETRONUCLEAR, 2007).

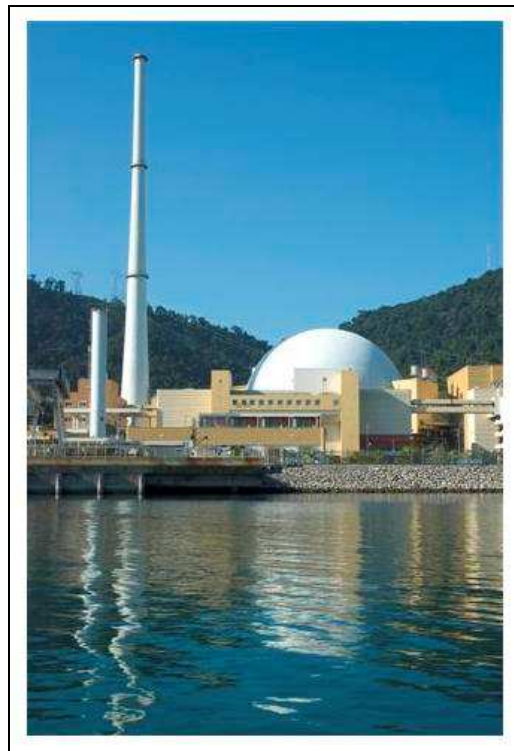


Figura 11. Usina Nuclear Angra II  
Fonte: ELETRONUCLEAR (2007)

A geração de energia elétrica por fissão nuclear iniciou no Brasil em 1982 com a usina nuclear de Angra I, mas somente a partir do ano de 1995 passou a operar regularmente. Porém, as usinas nucleares sofrem restrições (de ordem ambiental), impedindo assim o crescimento da participação para a interação das necessidades de consumo no Brasil (ANEEL, 2005).

No entanto, é possível gerar energia elétrica utilizando outro recurso natural sem ocorrer maiores riscos de ordem ambiental, conhecido este como energia dos ventos ou eólica. Essa forma consiste no aproveitamento dos ventos para movimentar turbinas eólicas, gerando a eletricidade (ANEEL, 2005), como demonstrada na Figura 12. Por essa razão, a energia produzida com a força dos ventos é considerada uma fonte de energia renovável, limpa e facilmente encontrada em diversos lugares, utilizada comercialmente há mais de 30 anos nos países europeus e nos Estados Unidos (CBEE, 2003).

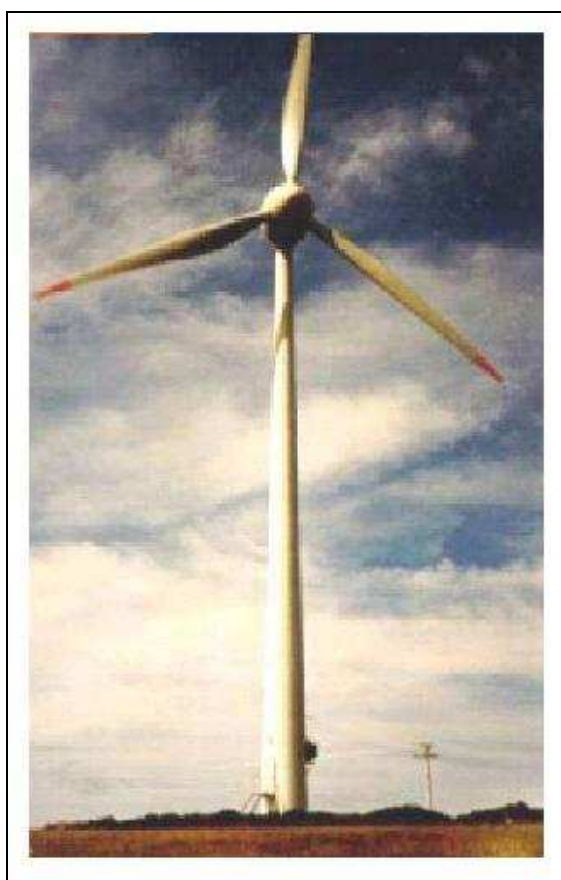


Figura 12. Central eólica de Bom Jardim da Serra - SC  
Fonte: ANEEL (2005)

Além disso, pode-se estabelecer conexão entre as turbinas eólicas e as redes elétricas como fontes complementares ou então a sua aplicação diretamente destinada a uma determinada localidade isolada. Porém, para que a energia eólica seja considerada útil requer necessariamente que a velocidade do vento seja no mínimo de 7 a 8 metros por segundo a uma altura de 50 metros. Por fim, a geração de energia elétrica com central eólica no Brasil iniciou a partir dos anos de 1990 e a sua participação neste contexto até os dias de hoje ainda é pequena (ANEEL, 2005).

A seguir será explanado o transporte da energia elétrica após a sua geração até o consumidor final.

### 3.2 TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como supracitado no Item 3.1, o modo de geração de energia elétrica no Brasil é realizado por fontes hidrotérmicos de grande porte, prevalecendo as usinas hidrelétricas.

Logo, para que os grandes centros consumidores possam utilizar a energia elétrica gerada pelas fontes produtoras, faz-se necessário o transporte da mesma pelas redes de transmissão que irão percorrer longas distâncias. Isto porque, as fontes geradoras de energia elétrica em geral não estão localizadas nas mediações dos centros consumidores (BOSSI; SESTO, 2002).

Assim, devido a essas longas distâncias juntamente com o grande tamanho do território nacional e as variações climáticas e hidrológicas do Brasil, pode existir uma elevação ou redução na produção de energia elétrica em algumas das usinas hidrelétricas. No entanto, a sua transmissão permite interligar as usinas de modo que compartilhem suas produções energéticas com outras regiões, tendo um melhor aproveitamento de toda energia

gerada (ANEEL, 2005). Além disso, transmissão de energia elétrica divide-se em redes de transmissão e sub-transmissão devido ao fato da fragmentação do mercado consumidor.

Dessa forma, a transmissão de grande volume de energia elétrica é feita pela rede primária, objetivando o fornecimento da mesma a grandes centros consumidores ou então a casuais consumidores de grande porte. A sub-transmissão, também chamada de rede secundária, atende às pequenas cidades e indústrias de grande porte, fazendo o remanejamento do grande volume de energia elétrica recebido da transmissão para as subestações de distribuição (ELETROBRÁS, 2002 apud ANEEL, 2005).

### 3.3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica depois de transportada pelas redes de transmissão é recebida pelas subestações de distribuição fixadas nos centros de consumo, onde posteriormente partem várias linhas alimentando a sua região delimitada (BRANDÃO, 1987). No Estado de Santa Catarina a energia elétrica chega até as subestações em um nível de alta tensão, com valores entre 138.000 e 69.000 volts e distribuída para as redes de distribuição em baixa tensão com a voltagem de 23.000 e 13.800 volts (CELESC, 2006). A Figura 13 ilustra uma subestação localizada na cidade de Criciúma no bairro Ceará.



Figura 13. Subestação Criciúma I

Assim, a energia elétrica percorre uma cidade por meio de condutores em 13.800 volts onde a mesma é reduzida em tensão de 110 ou 220 volts pelos transformadores, pois esta voltagem é utilizada por consumidores residenciais ou industriais (CAVALIN; CERVELIN, 2005). A Figura 14 ilustra um transformador e os condutores de energia elétrica com 13800 volts.

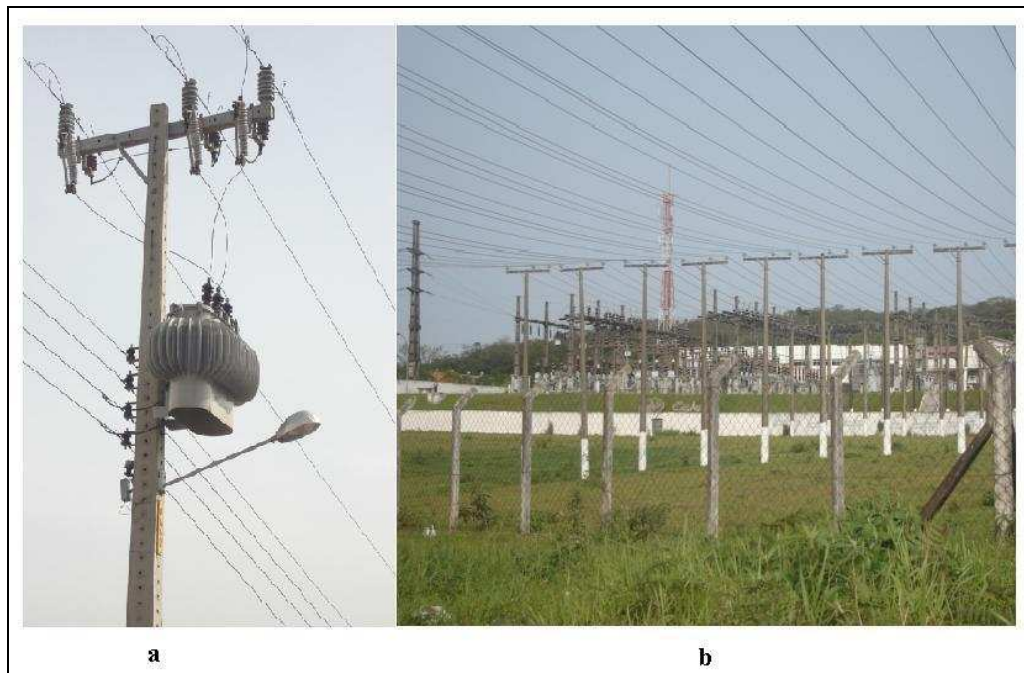


Figura 14. Transformador (a). Subestação Criciúma I (b)

## 4 A TECNOLOGIA PLC

A transmissão de dados utilizando a rede de energia elétrica já é bastante conhecida entre as empresas fornecedoras de energia elétrica, isto porque, é empregada desde a década de 60 para transporte operacional de voz, comando e controle dessas empresas em linhas de alta tensão. Porém, são utilizados e conhecidos por essas empresas os sistemas de Onda Portadora de Alta Tensão (OPLAT), que exigem baixas velocidades na transmissão de sinais para realizar a comunicação (APTEL, 2003).

Logo, a transmissão de dados sobre a rede de distribuição de energia elétrica está baseada no conceito das companhias telefônicas, que utilizam a sua infra-estrutura para transportar dados sobre a mesma até ao consumidor final (HELD, 2006).

Entretanto, com o aumento na procura por serviços de telecomunicações e com a carência de infra-estrutura que as companhias de telefonia possuem para conectar usuários finais, ficou evidente o interesse por diversas empresas em utilizar as redes de distribuição de energia elétrica para transmitirem dados que exigem alta velocidade de transmissão. Os primeiros testes utilizando a rede de energia elétrica para comunicação em alta velocidade ocorreram na Inglaterra em 1991 pela empresa de energia elétrica Norweb. Porém, a constatação da viabilidade da comunicação de dados de alta velocidade e a correção dos problemas de ruídos e interferências ocorreu entre 1995 e 1997. Com isto, a Norweb juntamente com a empresa Nortel fundaram a NOR.WEB com a finalidade de desenvolver e comercializar este conceito de comunicação, recebendo a denominação de *Digital Powerline* (DPL). No Brasil, este conceito ficou conhecido como tecnologia *Powerline Communication* (PLC) como tema único do primeiro Seminário realizado em 1999 pelo Subcomitê de Comunicações do Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI) e a APTEL (APTEL, 2003).

Assim, o PLC é uma tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica com o propósito de realizar a comunicação de dados em banda larga (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Esta tecnologia opera com rádio frequência em faixas típicas entre 1.7 e 30 MHz<sup>1</sup>, composta de modo geral por unidades concentradoras (*Head End*), repetidoras e unidades de terminação de clientes - *Customer Premise Equipament* (CPE ) (APTEL, 2003). Além disso, o PLC abrange a camada física e de enlace do modelo RM-OSI (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Assim, o PLC foi aperfeiçoado em virtude dos avanços das técnicas de modulação, que resume-se em adequar o sinal a ser transmitido por intermédio de um determinado meio físico (VARGAS, 2004).

#### 4.1 MODULAÇÃO DE SINAIS

Como supracitado, o favorecimento para o desenvolvimento da tecnologia PLC ocorreu em virtude dos avanços das técnicas de modulação.

Por conseguinte, a modulação ocorre no transmissor que dependendo da mensagem a ser enviada, modificará algum parâmetro da onda portadora possibilitando o envio da mesma pelo canal de transmissão. Por outro lado, o sinal enviado pelo canal é recebido pelo receptor recriando a mensagem original ocorrendo a demodulação. Porém, a recriação correta da mensagem original é prejudicada pela presença de ruídos e distorções no recebimento do sinal (VARGAS, 2004).

Entretanto, as técnicas de modulação a serem utilizadas por uma determinada comunicação, dependem do tipo e das características de operação deste meio. As técnicas de modulação que se destacam por mostrarem bons resultados de desempenho e por serem

---

<sup>1</sup> Unidade de medida de frequência, igual a um milhão de *hertz*.

reconhecidos por outros sistemas de comunicação são o *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) e o *Spread-Spectrum* (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

Na sequência, serão explanados os princípios das técnicas de modulação OFDM e *Spread-Spectrum* utilizadas na tecnologia PLC.

#### 4.1.1 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

A técnica OFDM é o processo de modulação de um complexo de portadoras de banda estreita e distribuídas lado a lado (APTEL, 2003). Consiste na diminuição da interferência provocada pela proximidade dos canais de frequência e com fundamentação na propriedade da ortogonalidade<sup>2</sup> entre sinais (VARGAS, 2004). Logo, são utilizadas uma grande quantidade de canais, isto porque, um canal é dividido em vários outros canais de banda estreita e frequências diferentes o qual proporciona a ortogonalidade, conforme a Figura 15. A base da técnica OFDM surgiu de outra técnica convencional conhecida por *frequency division multiplexing* (FDM).

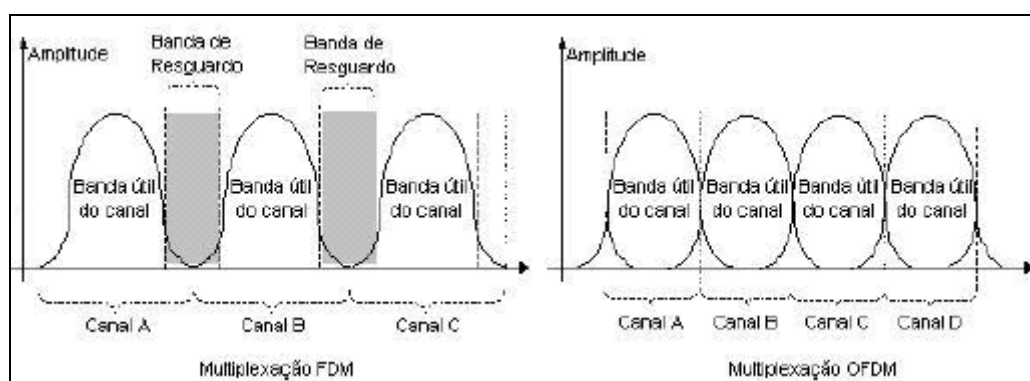


Figura 15. Divisão dos canais conforme FDM e OFDM  
Fonte: VARGAS, A. (2004)

Por conseguinte, na técnica FDM cada sinal ocorre dentro de uma única faixa de frequência ou banda. Assim, a diferença entre as técnicas FDM e OFDM está na forma como o sinal é modulado e demodulado (HELD, 2006).

<sup>2</sup> Multiplicação entre dois sinais resultando em zero.

### 4.1.2 *Spread-Spectrum*

Esta técnica de modulação consiste no espalhamento do espectro de frequência dos dados a serem transmitidos utilizando toda a largura de banda disponível, excedendo a banda mínima que seria necessária para transmitir a mensagem (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Dessa forma, a eficiência e potência da banda ficam prejudicadas para garantir a segurança nas transmissões realizadas em lugares adversos. Isto porque, a técnica *Spread-Spectrum* produz o sinal similar a um ruído tornando imperceptível a transmissão do mesmo pelo canal a quem possa estar monitorando a comunicação (VARGAS, 2004).

## 4.2 SISTEMAS DE ACESSO PLC

A utilização da rede de energia elétrica para a transmissão de dados está compreendida em dois sistemas qualificados como sistema *Indoor* e *Outdoor*. Conforme Corrêa (2004), o sistema *Outdoor* de maneira geral consiste em intermediar entre o Backbone<sup>3</sup> Internet e a infra-estrutura da rede elétrica de alta e média tensão. O sistema *Indoor* utiliza a infra-estrutura da rede elétrica existente de uma residência para efetuar a comunicação (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

Conforme a Figura 16, nota-se uma estrutura contendo os dois sistemas de acesso PLC para exemplificar a tecnologia.

---

<sup>3</sup> Responsável por garantir o tráfego de informações entre redes menores a ela ligadas.

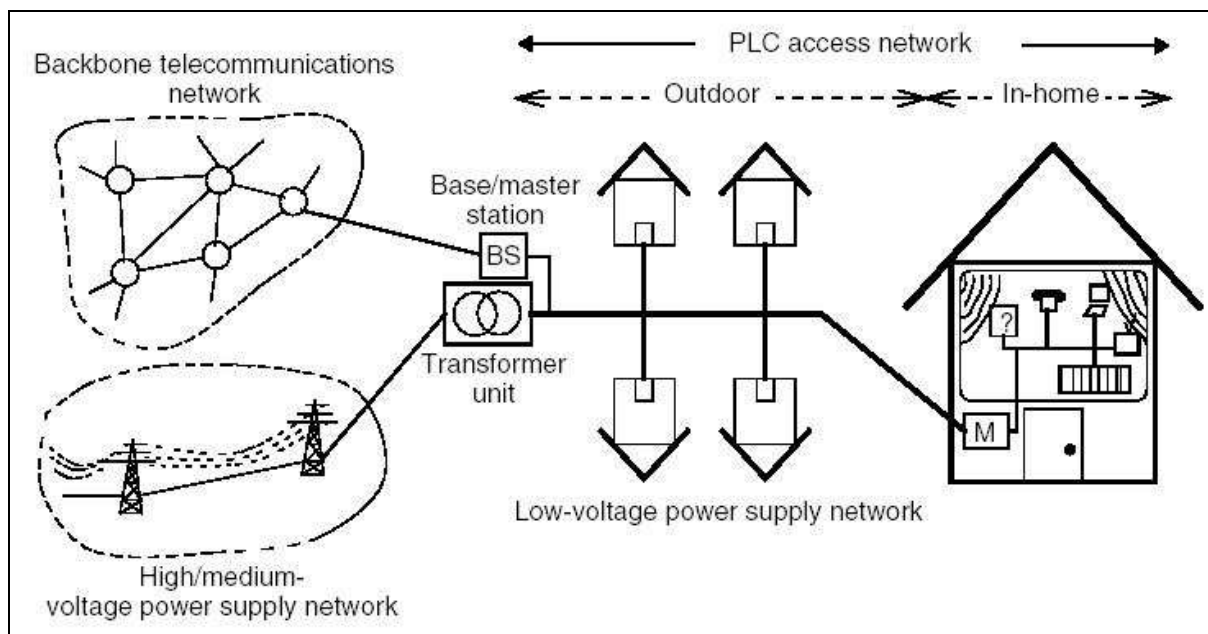


Figura 16. Visão geral da estrutura dos sistemas PLC *Indoor* e *Outdoor*  
 Fonte: HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. (2004)

#### 4.2.1 Sistema PLC *Outdoor*

Esse sistema é formado pela rede elétrica de alta e média tensão conectando esta à rede elétrica de tensão reduzida, 110 ou 220 volts, que sai do transformador de distribuição e vai até o medidor da residência do consumidor (CORRÊA, 2004). Logo, a rede elétrica de tensão reduzida é utilizada para estabelecer a conexão PLC com o *Backbone* Internet por meio de uma estação base (*master/gateway*) fixada no poste juntamente com o transformador, formando uma rede WAN na área de abrangência do transformador (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Desse modo, os equipamentos necessários para a realização da comunicação sobre a rede elétrica pelo sistema *Outdoor* são basicamente (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004):

- a) o repetidor, que tem como função recuperar e re-injetar o sinal na rede de distribuição elétrica de tensão reduzida procedente do equipamento do transformador. O repetidor é dispensável caso a topologia da rede elétrica e o

equipamento PLC do transformador obterem alta qualidade de conexão com o equipamento do usuário final;

- b) a estação base (*master/gateway*), fixado junto ao transformador com a finalidade de converter o sinal recebido da rede de distribuição PLC de média tensão e recolocá-lo novamente na rede de distribuição elétrica de tensão reduzida para o uso no sistema *Indoor*;
- c) unidade concentradora (*High End*), é um equipamento instalado nas subestações da rede de energia elétrica permitindo a interconexão com os provedores de Internet, conseqüentemente injetando o sinal na rede elétrica de média tensão.

O sistema *Outdoor* foi anteriormente ilustrado na Figura 16, o que esclarece a sua funcionalidade.

#### **4.2.2 Sistema PLC *Indoor***

O sistema *Indoor*, conhecido também por *In-home* PLC, utiliza a infra-estrutura da rede de energia elétrica de uma residência como meio de transmissão. Conseqüentemente, este sistema interliga dois ou mais computadores ou então a outros dispositivos formando uma LAN. Basicamente, a estrutura do sistema *Indoor* não é muito diferente do sistema *Outdoor*, isto porque, pode haver a necessidade de uma estação base para o controle da conexão com a área de sistema *Outdoor* (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Dessa forma, todas as tomadas elétricas existentes na residência tornam-se um ponto de conexão. Logo, para estabelecer uma conexão no sistema *Indoor* utiliza-se o modem PLC (CPE), que é o equipamento que adquire o sinal de dados diretamente da rede elétrica de uma tomada simples conforme Figura 17 (CORRÊA, 2004).

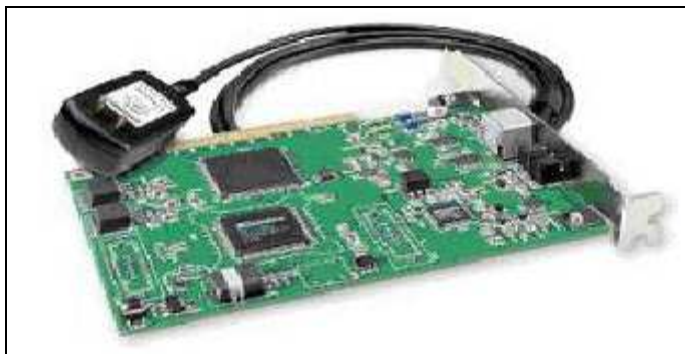


Figura 17. Modem PLC  
Fonte: CORRÊA, J. (2004)

Assim, o modem PLC recebe estes sinais de dados transformando-os em sinais modulados (LIMA et al, 2006). Além disso, existem os chamados adaptadores PLC que permitem utilizar a rede elétrica para a transmissão dos dados interligando computadores que possuem placas de redes *ethernet*, possibilitando a montagem de uma rede LAN *ethernet* conforme o ilustrado na Figura 18 com os elementos básicos para o mesmo (ZIMMERMANN, 2004).

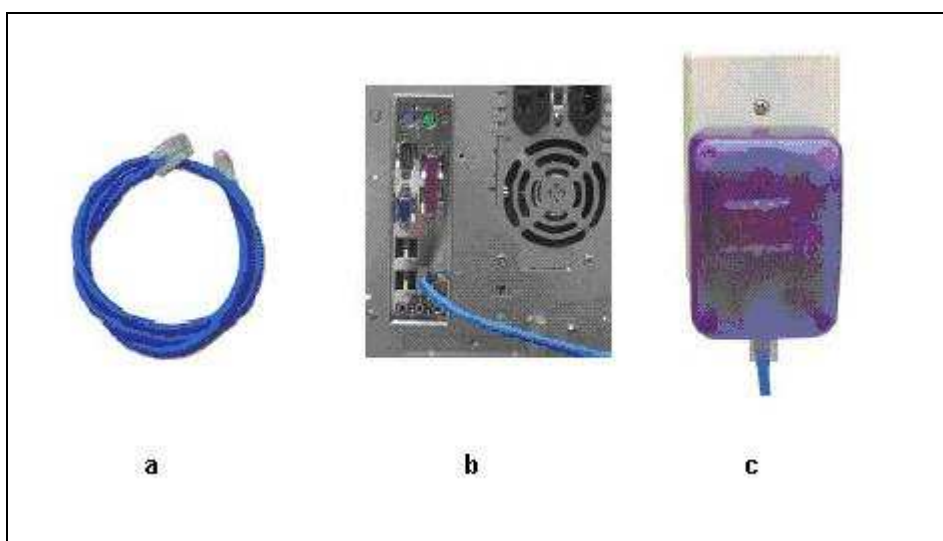


Figura 18. Cabo de rede (a). Placa de rede conectada ao cabo de rede (b). Adaptador PLC (c)  
Fonte: ZIMMERMANN, M. (2004)

Assim conforme a Figura 19 é utilizado dois adaptadores conectados à tomada elétrica e devidamente com os computadores para criar uma rede LAN por meio da rede de energia elétrica (NAXOS, 200?)

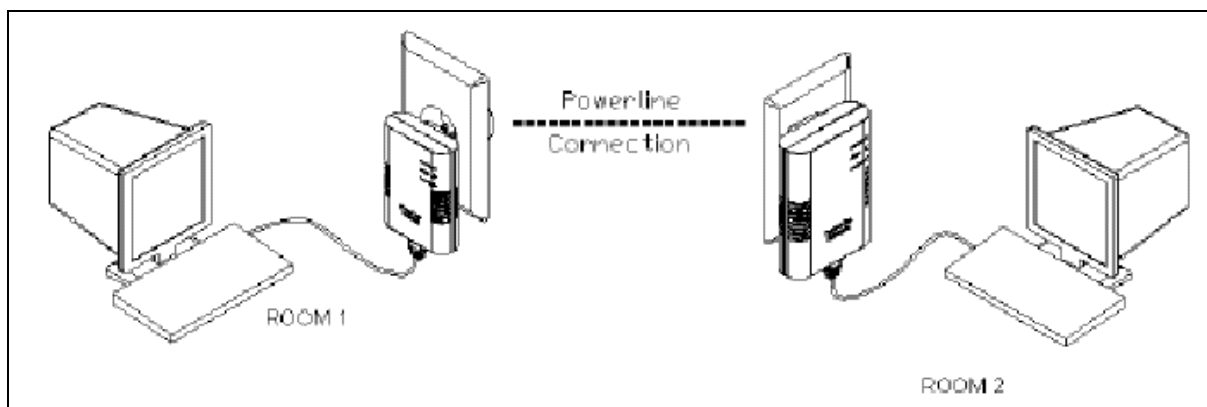


Figura 19. Rede local com o uso de adaptadores *ethernet* PLC  
 Fonte: NAXOS (200?)

### 4.3 REGULAMENTAÇÃO E PADRONIZAÇÃO

A tecnologia PLC permite fornecer vários serviços de dados, vídeos e voz, que basicamente já são comercializados por outras tecnologias de comunicação de alta velocidade. Todavia, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) não especifica alguma regulamentação em especial para a prestação de serviços com a utilização da tecnologia PLC no mercado brasileiro. Porém, os produtos a serem utilizados em redes PLC necessitam da avaliação da ANATEL para serem certificados, de forma a garantir a compatibilidade funcional, a compatibilidade eletromagnética, segurança elétrica e atendimento de emissão de frequências, com o intuito de diminuir as interferências em outros sistemas.

Entretanto, para buscar uma solução para a padronização criou-se no ano 2000 nos Estados Unidos da América (EUA) uma aliança denominada *HomePlug Powerline Alliance*, constituído por 13 grandes empresas fabricantes de equipamentos (3Com, AMD, Cisco, Compaq, Conexant, Enikia, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic, RadioShack, SoniBlue e Texas Instruments) para o desenvolvimento de uma especificação global para os produtos PLC (CORRÊA, 2004). Assim, nos EUA existe uma regulamentação mundial estabelecida pela *Federal Communications Commission* (FCC) reconhecida como FCC Part 15, que

estabelece limites para radiação não-intencional oriundo de sistemas de telecomunicações com fio. Dessa forma, o Brasil basicamente seguirá o padrão da FCC Part 15 para o tratamento das redes PLC (APTEL, 2003). Esta padronização pode ser observada no site da ANATEL<sup>4</sup>, conforme ilustrado na Figura 20.

| Nº Homologação | Número Uso 51ar                  | Modelo do Produto  | Arquivo | Fabricante                         | Tipo do Produto | Validade      |
|----------------|----------------------------------|--|---------|------------------------------------|-----------------|---------------|
| 1040042395     | 995504WWW2395                    | CPE-AM-10-20250  |         | Mitsubishi Electric Corporation    | Modem PLC       | Suspensa      |
| 1488062301     | 1602006WWW2301<br>1602116WWW2301 | Powerline LV / MU Modem - US Plug 0171486N01<br>Powerline LV / MU Modem - Euro Plug 0171486N03 |         | Motorola Inc.                      | Modem PLC       | Indeterminada |
| 2072062301     | 1697106WWW2301<br>1697206WWW2301 | Powerline MU Gateway - US Plug 0171486N11<br>Powerline MU Gateway - Euro Plug 0171486N04       |         | Motorola Inc.                      | Modem PLC       | Indeterminada |
| 0262072018     | 1749807WWW2018<br>1945707WWW2018 | XP302A<br>XP302H   |         | Xavi Technologies Corporation      | Modem PLC       | Indeterminada |
| 0942072948     | 1881707WWW2948                   | HL105E   |         | Aztech Systems (Hong Kong) Ltd.    | Modem PLC       | Indeterminada |
| 1101073522     | 1911907WWW3922<br>2073207WWW3922 | ILV201<br>ILV701   |         | Schneider Electric Powerline Comm. | Modem PLC       | Indeterminada |
| 1175073096     | 1925407WWW3096                   | DH-10P   |         | Comtrend Corporation               | Modem PLC       | Indeterminada |
| 2105074223     | 2101007WWW4223                   | APA-2000-08  |         | Current Technologies International | Modem PLC       | Indeterminada |
| 0160083569     | 2154008WWW3569                   | PL 8520  |         | Aztech Systems Ltd.                | Modem PLC       | Indeterminada |
| 0161083569     | 2154108WWW3569                   | PL 2020  |         | Aztech Systems Ltd.                | Modem PLC       | Indeterminada |
| 0473083569     | 2203108WWW3569                   | PL 2021  |         | Aztech Systems Ltd.                | Modem PLC       | Indeterminada |

Figura 20. Relação dos equipamentos homologados pela ANATEL  
Fonte: ANATEL (2008)

Porém, para tornar a tecnologia PLC um potencial de mercado, o IEEE iniciou em julho de 2004 o desenvolvimento de padrões para a Internet em banda larga pela rede de energia elétrica com reconhecimento IEEE P1675, *Standard for Broadband over Power Line Hardware* (Padrão para banda larga sobre equipamentos de rede elétrica). Conseqüentemente, o padrão P1675 tratará dos métodos de implementação da tecnologia PLC entre as subestações e os usuários finais, dos equipamentos de segurança necessários com o sistema PLC e especificações para infra-estruturas aéreas e subterrâneas da rede de energia elétrica (MCCABE, 2004).

<sup>4</sup> www.anatel.com.br

#### 4.4 SITUAÇÃO DA TECNOLOGIA PLC NO MUNDO E BRASIL

Empresas de energia elétrica do mundo inteiro mostram-se interessadas em realizar testes e conseqüentemente comercializar a tecnologia PLC. Logo, no período entre o ano de 2001 e 2003 foram realizados vários testes por diversas empresas de energia elétrica com resultados bem sucedidos, constatando a viabilidade desta tecnologia (LIMA et al, 2006). Conforme Corrêa (2004) a comercialização da tecnologia PLC ocorre nos países da Europa, Leste Europeu, Ásia e América Latina. Nos EUA a empresa *Current Communication Services* do grupo *Current Group*, prestadora de serviços de telecomunicação comercializa Internet banda larga e voz utilizando a rede de energia elétrica para a transmissão de dados (CURRENT, 2004).

Entretanto, no Brasil diversas empresas de energia elétrica realizaram testes com a tecnologia PLC, destacando a CEMIG, ELETROPAULO, COPEL e LIGHT como as pioneiras nos testes de campos nos anos de 2001 e 2002 (CORRÊA, 2004). Além disso, as concessionárias ELETROPAULO, CELG e CEMAR juntamente com a EBA fabricante de equipamentos adotaram a tecnologia PLC no Projeto Ilha Digital de Barreirinhas em dezembro de 2004, permitindo o acesso à Internet por meio do uso desta tecnologia à escolas, prefeitura, postos de saúde e centro de artesanato de Barreirinhas no Maranhão (LIMA et al, 2006). No Estado de Santa Catarina a Iguazu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda localizada em Xanxerê, aplicou em 2002 um projeto para analisar a tecnologia PLC para a transmissão de dados, voz e imagem na sua rede de distribuição de energia elétrica incorporando serviços de acesso à Internet e telefonia. Dessa forma, a arquitetura do projeto era composto por um Centro de Gerência para administrar os clientes PLC e o *Backbone* Internet e conseqüentemente oferecer outros serviços com a utilização do PLC (VARGAS, 2004). Logo, a Figura 21 ilustra as interconexões planejadas no projeto PLC citado.



Figura 21. Interconexões do projeto PLC da Iguazu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda  
 Fonte: VARGAS, A. (2004)

#### 4.5 VANTAGENS DA TECNOLOGIA PLC

Apesar da tecnologia PLC não possuir uma regulamentação específica para o seu uso em território brasileiro, pode-se citar algumas vantagens para a aplicabilidade deste meio de transmissão de dados em banda larga conforme Corrêa (2004):

- a) diminuição dos custos de implantação devido a alta capilaridade do sistema elétrico;
- b) rede para a comunicação de dados é a mesma do sistema elétrico, sem haver a necessidade de novos cabos;
- c) possibilidade de novos negócios e diversificação de atividades;

- d) infra-estrutura elétrica residencial com novas e múltiplas aplicações;
- e) facilidade na instalação;
- f) viabilidade econômica para conectar usuários ilhados por obstáculo reconhecidos por *The Last Mile* (última milha) (ANDRADE; SOUZA, 2004);
- g) altas taxas de transmissão de banda larga.

#### 4.6 DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA PLC

As desvantagens estão relacionadas à padronização e regulamentação da tecnologia. Da mesma forma, a rede de distribuição de energia elétrica com má qualidade e diversificação, em parte, impedem o crescimento da aplicabilidade da tecnologia PLC como meio de transmissão de dados em banda larga. Assim, pode-se destacar algumas desvantagens:

- a) não existe uma regulamentação que seja reconhecida mundial, mesmo nos países que já comercializam o PLC (CORRÊA, 2004);
- b) no Brasil não existe uma regulamentação específica para a prestação de serviços, somente autorização da ANATEL para realizar testes (TEIXEIRA, 2005);
- c) ruídos provocados por interruptores, aparelhos domésticos, motores, entre outros, podem provocar a diminuição da velocidade de transmissão (VARGAS, 2004);
- d) existência de redes elétricas antigas exigem melhorias na qualidade para o próprio fornecimento da energia elétrica (CORRÊA, 2004);
- e) compartilhamento indesejado do sinal PLC em uma infra-estrutura de rede de energia elétrica de edifícios.

#### 4.7 CUSTO PARA IMPLEMENTAR UM SISTEMA PLC *INDOOR*

A criação de uma rede local sem precisar investir em infra-estrutura específica, tornou-se real com a utilização da tecnologia PLC. Logo, a existência dos equipamentos PLC permite construir uma rede LAN em poucos minutos, ligando-os diretamente à tomadas elétricas e configurando-os para tal finalidade. Para isso, são necessários dois equipamentos PLC conhecidos por adaptadores PLC ou modem PLC, como supracitados no item 4.2.2, para conectar dois computadores. Assim, o custo para sua implementação é em torno de U\$ 158 por equipamento (NAXOS, 200?). Cabe ressaltar, que o custo final será visto no item 7.3 adiante onde os equipamentos utilizados para o estudo da tecnologia foram adquiridos em moeda corrente brasileira (no momento da escrita do trabalho), o real.

## 5 MEIOS DE ACESSO À INTERNET

O acesso à Internet em qualquer lugar que seja ocorre com a utilização de um provedor de acesso que conectará o computador à Internet, possibilitando assim o uso de serviços como navegação na WWW e envio e recebimento de e-mail. Porém, primeiro é necessário conectar o computador no provedor de acesso à Internet para em seguida utilizá-la (TUDE; SOUZA; BERNAL FILHO, 2007). Entretanto, existem diversos meios de acesso que serão explanados a seguir.

### 5.1 ACESSO DISCADO

A utilização desse meio de acesso, considerado popular, o computador necessariamente deve possuir um fax-modem interno ou externo, uma linha telefônica convencional e um provedor de acesso. Porém, a velocidade de transferência de dados desta conexão é baixa, não passando dos 56 Kbps, instável e não permite utilizar a linha telefônica para efetuar ligação de voz quando se está conectado à Internet (PETRACIOLI, 2008). Portanto, para estabelecer uma conexão no acesso discado, o usuário efetua uma chamada ao provedor de acesso à Internet pelo modem do computador. Desse modo, ao receber a chamada o provedor inicia a troca de informações entre a origem e o destino estabelecendo uma conexão em protocolo IP (TUDE; SOUZA; BERNAL FILHO, 2007).

Conseqüentemente com a conexão estabelecida, o modem converterá os sinais digitais enviados pelo computador em sinais analógicos, permitindo-os trafegarem pela linha telefônica. Entretanto, as informações recebidas pelo modem do computador de destino reconverterá os sinais analógicos em sinais digitais para sua utilização (DEMÉTRIO, 2001). Conforme a Figura 22, o usuário tem relação com dois prestadores de serviços para efetuar o

meio de acesso discado à Internet: a operadora de telefonia e o provedor de acesso a serviços Internet. Logo, o custo deste meio de acesso é o custo da ligação telefônica e o custo do provedor de acesso. O custo da ligação telefônica fica dependendo do plano de serviço da operadora que pode cobrar pelo tempo de conexão em minutos, ou então, cobrar um valor mensal para as conexões de Internet independentemente do tempo em que o usuário ficar conectado à mesma. Porém, o custo do provedor de acesso é um valor fixo mensal para sua utilização ou então a inexistência da mesma nos casos de provedores de acesso grátis. Assim, o custo total do acesso discado dependerá do plano contratado e do tempo de permanência de conexão à Internet (TUDE; SOUZA; BERNAL FILHO, 2007).

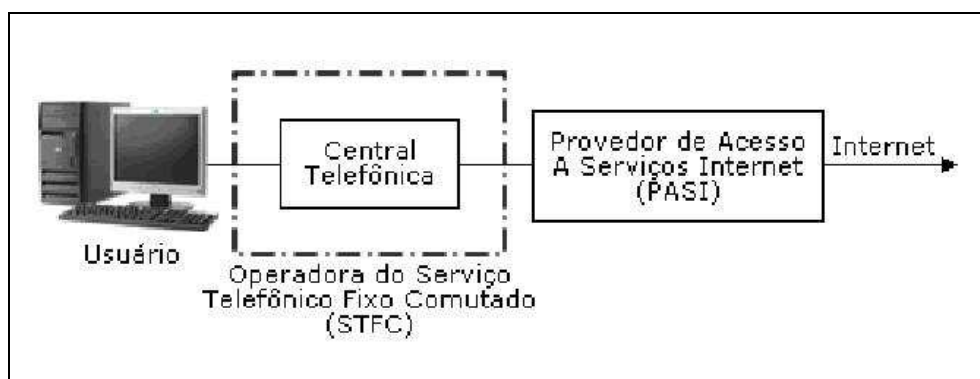


Figura 22. Relação usuário com operadora de telefonia e provedor de acesso  
Fonte: TUDE; SOUZA; BERNAL FILHO (2007)

O acesso discado à Internet está disponibilizado na região de Criciúma por provedores de acesso em parceria com operadoras de telefonia convencional, que por sua vez cobram taxas para efetuar a autenticação do computador do usuário na WWW. Conseqüentemente, os provedores que abrangem a região de Criciúma permitem aos seus usuários serviços como e-mail, webmail, portal do provedor de acesso com conteúdos exclusivos, software de conexão e serviço de suporte técnico 24 horas por dia em suas estruturas com taxas a partir de R\$ 9,90<sup>5</sup> ao mês. Entretanto, existem provedores de acesso discado gratuito<sup>6</sup> à Internet que atendem a região de Criciúma com os mesmos serviços

<sup>5</sup> Valor para autenticação do acesso consultado no provedor Engeplus no dia 01 de abril de 2008.

<sup>6</sup> <http://www.pop.com.br/cadastro/>

básicos dos provedores que cobram para tal finalidade. Logo, o usuário apenas terá o custo da ligação para o provedor de acesso.

## 5.2 ACESSO VIA ADSL

Esse meio de acesso à Internet utiliza o cabo de telefonia fixa existente no local do usuário, porém este mesmo é compartilhado para as transmissões de voz e de dados. Entretanto, para utilizar o acesso à Internet via ADSL deve-se instalar um modem ADSL no lado do usuário e a operadora de telefonia deve ter sua rede preparada para o fornecimento do serviço (BERNAL FILHO, 2007). Assim, o usuário pode conectar-se na Internet e navegar na WWW ao mesmo tempo em que efetua uma chamada de voz, pois a linha telefônica fica disponibilizada para tal serviço. Logo, isso é possível porque o modem ADSL converte as informações em sinais elétricos que serão enviados pelo meio físico em uma frequência diferente da utilizada para a voz, não conflitando os sinais (PETRACIOLI, 2008).

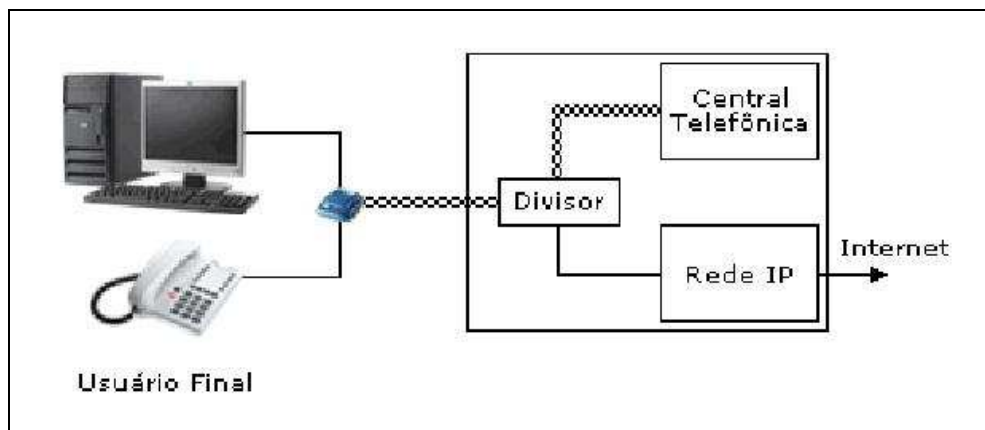


Figura 23. Conexão entre o usuário final e a operadora de telefonia fixa  
Fonte: BERNAL FILHO (2007)

A Figura 23 ilustra a conexão entre o usuário final e a operadora de telefonia fixa, que por sua vez, efetua a divisão dos sinais elétricos entre voz e dados estabelecendo o fornecimento dos serviços de Internet. Entretanto, para habilitar este acesso à Internet o usuário deve contratar um provedor de acesso e o serviço de ADSL da operadora local de

telefonia fixa, ficando a sua escolha comprar o modem, alugá-lo ou então dependendo dos prestadores de serviços de Internet, sem custo algum para o usuário. Desta maneira, o acesso via ADSL é considerado de banda larga por possibilitar taxas de transferência de 128 Kbps à 10Mbps ou então 24Mbps no caso do ADSL2+. Porém, a disponibilidade deste meio está limitada à distância entre o ponto de presença da operadora e o usuário final, pois a qualidade dos cabos de cobre e a atenuação normal podem tornar inoperante a conexão (BERNAL FILHO, 2007).

O acesso via ADSL à Internet está disponibilizado na região de Criciúma, com os serviços já demonstrados anteriormente no item 5.1, com taxas a partir de R\$ 9,90<sup>7</sup> ao mês. Porém, a liberação do sinal de acesso ADSL é realizada por uma operadora de telefonia convencional, à escolha do usuário, que atenda a região de Criciúma, verificando a disponibilidade do acesso a ser contratada para o local desejado. Logo, o valor da liberação do sinal de acesso ADSL num plano de 250 Kbps para download e 128 Kbps para upload, por exemplo, custa R\$ 59,90<sup>8</sup> mensais.

### 5.3 ACESSO SEM FIO

O meio de acesso sem fio à Internet utiliza rede baseada em ondas eletromagnéticas, que desta forma pode ser comercializado para usuários domésticos ou corporativos devido à facilidade de instalação em locais que não possuem infra-estrutura de cabeamento de cobre ou óptico (BERNAL FILHO, 2007). Desta forma, serão explanados a seguir os tipos de acesso sem fio.

---

<sup>7</sup> Valor para autenticação do acesso e dois e-mails adicionais, consultado no provedor Engeplus no dia 01 de abril de 2008.

<sup>8</sup> Plano Turbo 250 da Brasil Telecom, sem provedor de acesso.

### 5.3.1 Acesso via rádio

Este tipo de acesso permite expandir um ponto de uma conexão banda larga feita por uma tecnologia convencional em locais onde não possuem tal serviço. Desta maneira, pode-se estender uma conexão a uma área restrita específica (ponto a ponto) como também a uma cidade inteira (multiponto), permitindo assim o compartilhamento do acesso e a mobilidade aos usuários (PETRACIOLI, 2008). Porém, para contratar uma conexão multiponto o usuário deve entrar em contato com a operadora que possua a sua rede de dados preparada para o acesso sem fio para verificar a disponibilidade do mesmo. A Figura 24 exemplifica a infra-estrutura básica de acesso de sem fio.

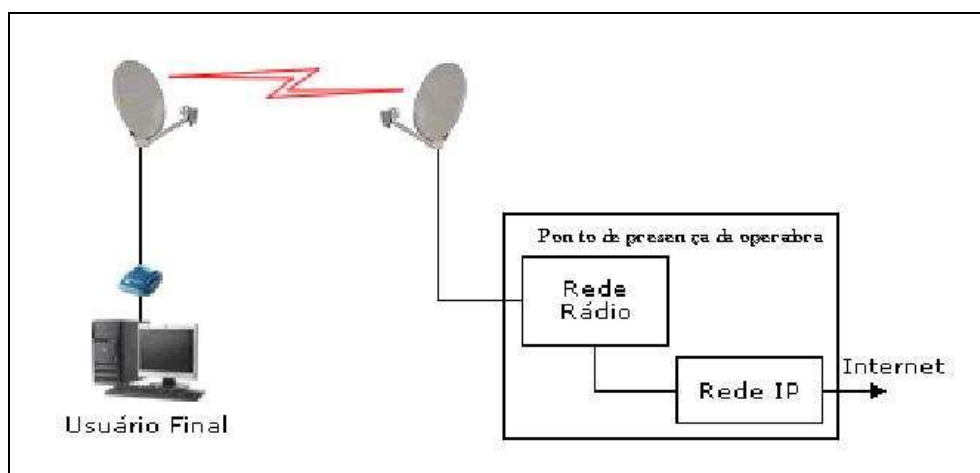


Figura 24. Infraestrutura básica de acesso sem fio  
Fonte: BERNAL FILHO (2007)

Logo, para utilizar este meio o usuário além de contratar o serviço deve possuir um computador equipado com receptor ou adaptador de rede sem fio. Assim, o acesso à Internet via rádio está disponibilizado na região de Criciúma. Porém, o valor da antena de recepção do sinal de acesso custa R\$ 350,00<sup>9</sup> instalado na residência do usuário, sendo que os provedores de acesso cobram taxas a partir de R\$ 50,00 para efetuar a autenticação do computador do usuário na WWW. Desta forma, possibilitará ao usuário uma conexão ativa 24 horas por dia com acesso a serviços como e-mail, webmail, portal do provedor de acesso com

<sup>9</sup> Valores consultados no provedor Engeplus no dia 01 de abril de 2008.

conteúdos exclusivos e suporte via telefone. Ainda assim, o usuário que optar por esse meio de acesso na região de Criciúma tem como opção os planos de velocidades de transferência de 300 Kbps por 50,00 reais, 500 Kbps por R\$ 79,90 e 800 Kbps por 115,00 reais. Entretanto, para contratar esse meio de acesso em um edifício é exigido ter no mínimo dois usuários, onde apenas do valor da adesão (50,00 reais) e o plano de velocidade de transferência escolhido pelos mesmos será cobrado.

Desta forma, pode-se compartilhar este meio de acesso com vários usuários diminuindo os custos para instalação e manutenção de uma conexão permanente. Porém, o desempenho da navegação pode ser prejudicado pelo fato de compartilhar o mesmo canal (PETRACIOLI, 2008).

### **5.3.2 Acesso via satélite**

Este acesso é feito com a instalação de antenas parabólicas direcionadas para o satélite geostacionário da operadora para prover o acesso à Internet de sua cobertura. Desta forma, a antena e o receptor são implantados no endereço físico do usuário para que possibilite o acesso à Internet via satélite (BERNAL FILHO, 2007). Entretanto, os equipamentos podem ser adquiridos pelo usuário ou fornecidos pelo próprio provedor de acesso, e os custos dos planos de serviços dependem da escolha da velocidade de conexão que varia de 512 Kbps à 2 Mbps (PETRACIOLI, 2008). Portanto, as indicações para o uso da comunicação via satélite são em locais como regiões geográficas muito extensa, localidades remotas como, por exemplo, propriedades rurais e suburbanas ou então em casos em que se deseja um tempo de implantação muito rápido. Para isso, esse meio de acesso é composto fisicamente por uma antena que varia de 80 centímetros a 2 metros, alimentador, a parte de radio frequência, transmissor e o receptor e por um modem. Logo, a comunicação entre o

modem e a antena é feita por cabos coaxiais com uma transmissão de 2 GHz, não excedendo a distância máxima de 100 metros entre eles (HUGUENEY, 2003). Assim, a Figura 25 ilustra o meio de acesso a Internet via satélite.

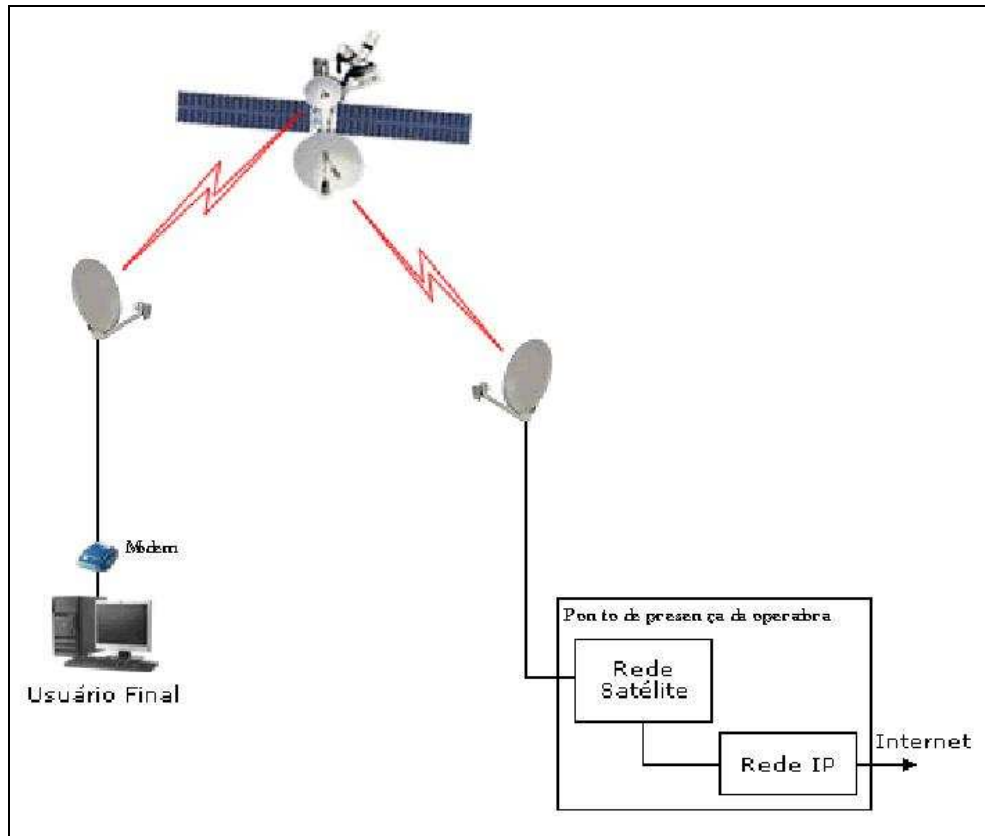


Figura 25. Estrutura de acesso via satélite  
Fonte: BERNAL FILHO (2007)

### 5.3.3 Acesso móvel

Essa forma de acesso à Internet utiliza a rede de dados das operadoras de telefonia celular ou operadoras com tecnologia WI-FI (tecnologia que conecta dispositivos sem fios, usando o protocolo IEEE 802.11). Logo, na rede das operadoras de telefonia celular com redes Global System for Mobile Communications (GSM) permitem conexão à Internet e às redes de dados com taxas de transferências de até 120 Kbps por meio das tecnologias General Packet Radio Services (GPRS) e Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE). A Figura 26 ilustra uma conexão à Internet utilizando a tecnologia GPRS. Porém, na rede Code

Division Multiple Access (CDMA) possibilita conexões à Internet e às redes de dados com taxas de transferência de 150 Kbps com a tecnologia 1x Radio Transmission Technology (1xRTT) e taxas de 2,4 Mbps e 4,8 Mbps com as tecnologias 1x Evolution-Data Only (1xEV-DO) e 1x Evolution-Data and Voice (1xEV-DV) respectivamente (BERNAL FILHO, 2007).

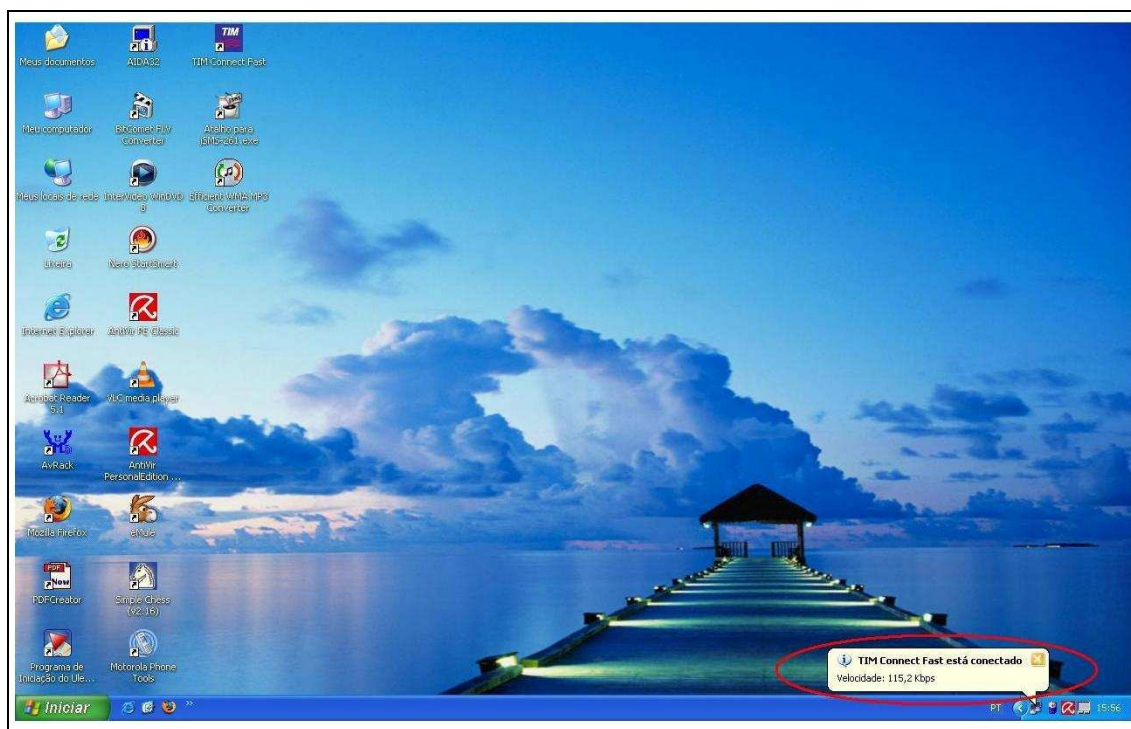


Figura 26. Conexão à Internet via celular

Logo, a conexão ilustrada conforme a Figura 26 foi realizada por meio de um celular Motorola C350i com interface Universal Serial Bus (USB), possibilitando conectá-lo a um computador e permitindo a navegação na WWW. Porém, foi contratado o acesso à Internet da operadora TIM<sup>10</sup> a um custo promocional de R\$10,00 (Dez reais) por 40 Mb para utilização. Assim, para efetuar a conexão a rede de telefonia celular torna-se necessário autenticar-se por meio do discador da operadora, que por sua vez requer o número do celular do usuário como login e o número do PUK do número do celular como senha. A estrutura física do acesso móvel via celular é ilustrado na Figura 27.

<sup>10</sup> <http://www.tim.com.br>

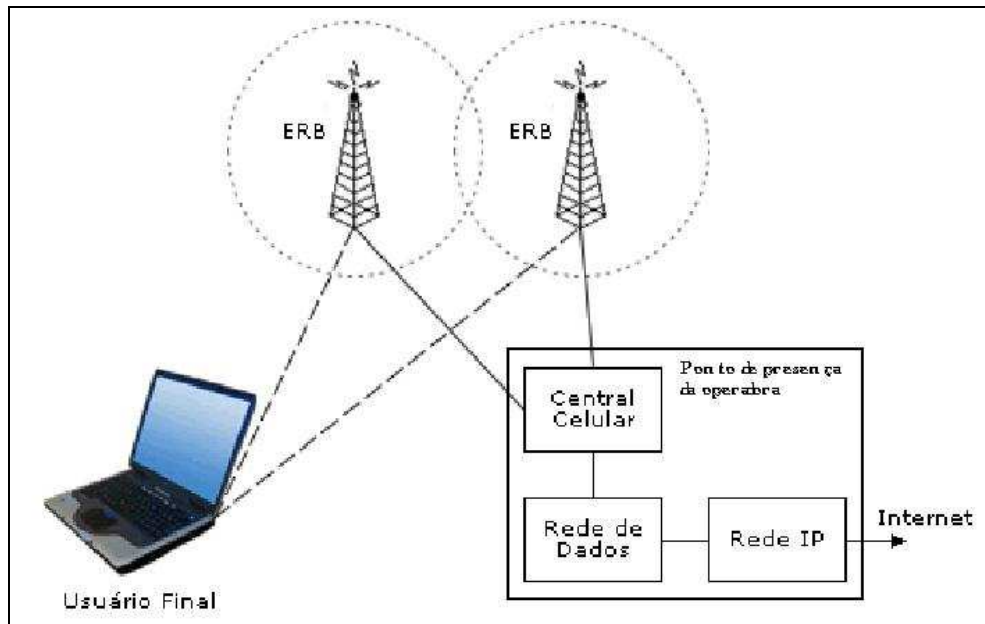


Figura 27. Estrutura física para acesso móvel à Internet  
 Fonte: BERNAL FILHO (2007)

Entretanto, a tecnologia Wireless Fidelity (WI-FI) é utilizada em redes locais sem fio com os padrões IEEE 802.11, em locais públicos como cybercafés, aeroportos entre outros por meio de pontos de acesso denominados *Hot-spots* instalado pelo provedor a todos os seus assinantes presentes nestes locais de cobertura, permitindo assim o acesso à Internet (BERNAL FILHO, 2007). Logo, essas redes locais sem fios conhecidas como Wireless Local Area Networks (WLANs) utilizam sinais de rádio frequência ou infravermelho para a transferência de dados, diminuindo o uso de cabos para o mesmo fim. Por conseguinte, o padrão utilizado pela rede sem fio, o IEEE 802.11, permite taxas de transferências de até 108 Mbps a uma distância nominal de 100 metros. Assim, fornecem baixo custo, rapidez, e segurança dos dados por meio de autenticação e criptografia (BUDRI; BONILHA, 2003).

Portanto, para efetuar uma conexão à Internet por meio da tecnologia WI-FI é necessário que o usuário tenha contratado um provedor de acesso que disponibilize o sinal e que possua um computador ou dispositivo móvel com adaptador ou placa de rede sem fio (BERNAL FILHO, 2007). Esse meio de acesso é demonstrado na Figura 28.

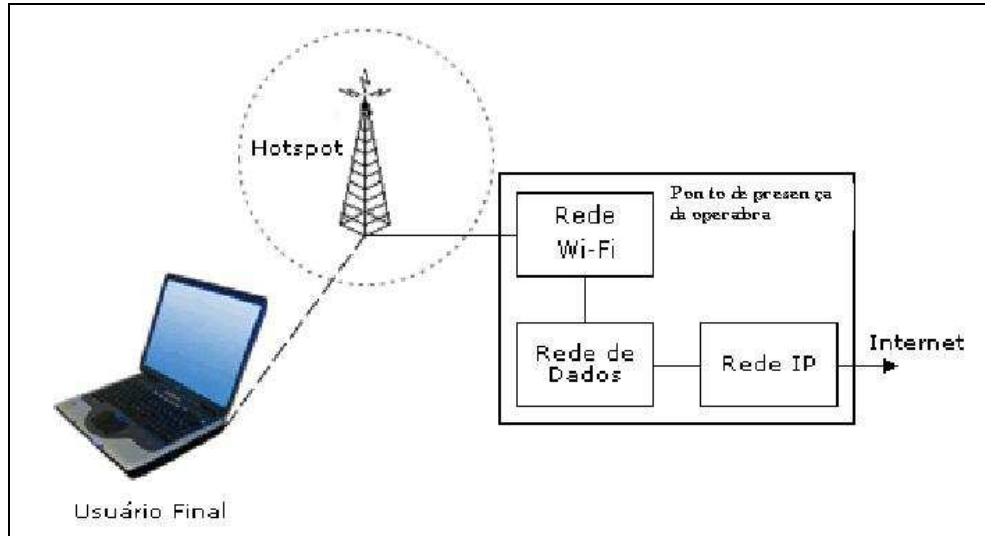


Figura 28. Estrutura física para acesso WI-FI  
 Fonte: BERNAL FILHO (2007)

Outra forma de conexão sem fio, o Wimax, tem como finalidade prover acesso sem fio tanto para acesso móvel como o acesso fixo, de acordo com o recente padrão IEEE802.16. Desta forma, são disponibilizados pontos de acesso semelhante as estações rádio-base (ERB) das redes de telefonia celular para que os assinantes no raio de cobertura possam ter o acesso sem fio a Internet, mesmo que eles estejam em movimento ou em locais fixos (BERNAL FILHO, 2007). Logo, a Figura 29 ilustra essa tecnologia de acesso a Internet.

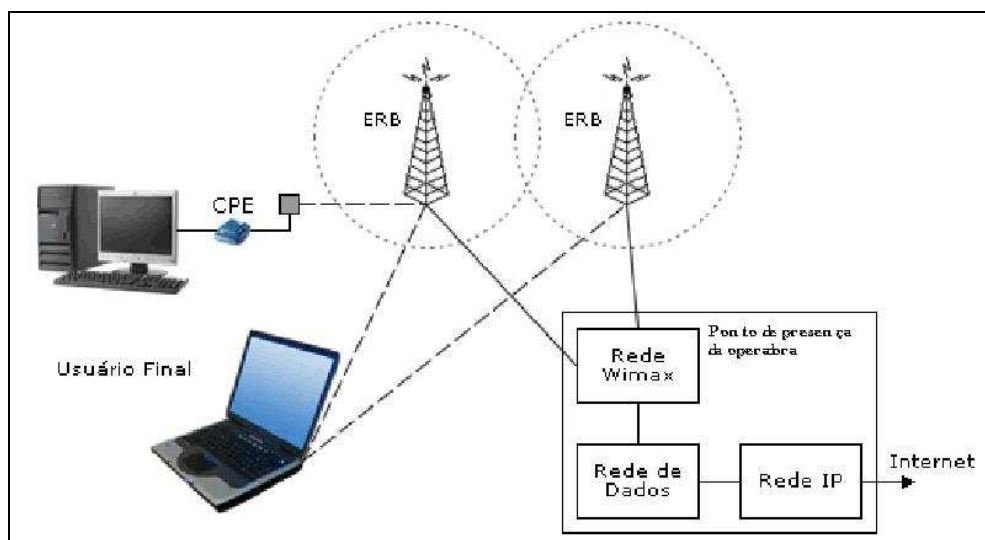


Figura 29. Estrutura física para acesso Wimax  
 Fonte: BERNAL FILHO (2007)

#### 5.4 ACESSO VIA ETHERNET ÓPTICO

Este meio, conhecido também como acesso dedicado, é realizado por meio de cabos de fibra óptica que partem da operadora até aos pontos de entrega de potencialidade como condomínios comerciais e residências (BERNAL FILHO, 2007). Isto porque, esse acesso suporta taxas de transmissão de até 10 Gbps às redes LANs, MANs e WANs no padrão IEEE 802.3ae, recebendo assim o nome de ethernet óptica (MARTINAZZO, 2003). Porém, conduzir o cabo de fibra óptica até o ponto desejado necessita de uma infra-estrutura para alojá-lo adequadamente ao longo do seu trajeto, reaproveitando as estruturas presentes no local ou implantá-las quando não houver. Logo, as redes ópticas podem variar de aéreas, subterrâneas, submarinas ou uma fusão delas (MARTINS, 2003).

Portanto, o usuário interessado neste tipo de acesso a Internet deve consultar uma operadora para verificar a disponibilidade do serviço no local. Os equipamentos utilizados pela operadora para este meio de acesso normalmente não tem custo algum para o usuário, validando o serviço ativo 24 horas por dia com uma taxa mensal (BERNAL FILHO, 2007). Assim, o acesso à Internet via cabos de fibra óptica está ilustrada na Figura 30 a seguir.

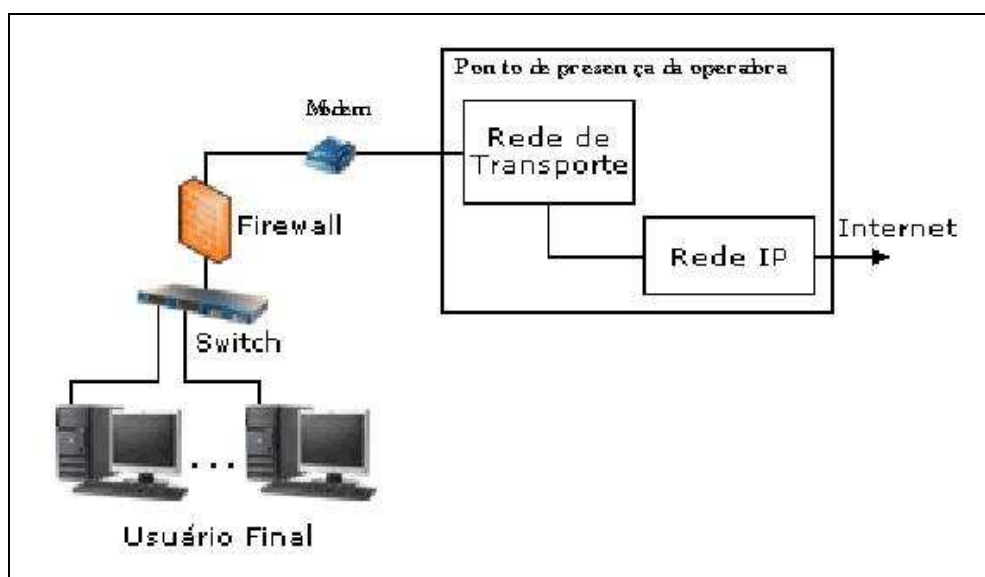


Figura 30. Estrutura física acesso óptico  
Fonte: BERNAL FILHO (2007).

O acesso à Internet via ethernet óptico está disponibilizado na região de Criciúma por um provedor de acesso, que por sua vez cobra uma taxa de 50,00<sup>11</sup> reais para efetuar a adesão. Logo, a velocidade de transferência oferecida ao usuário é de 2 Mbps pelo valor de 50,00 reais mensais para autenticação de um computador na WWW. Porém, os pontos adicionais instalados para o usuário custam 50,00 reais para o primeiro ponto adicional, 15,00 reais para o segundo e 10,00 reais para os demais pontos. Entretanto, para contratar esse meio de acesso em um prédio é exigido ter no mínimo sete usuários e disponibilidade do meio de transmissão no local. Conseqüentemente, o provedor que abrange a região de Criciúma com esse meio de acesso permite aos seus usuários serviços como e-mail, webmail, portal do provedor de acesso com conteúdos exclusivos e serviço de suporte técnico 24 horas por dia.

## 5.5 ACESSO VIA CABO

A Internet via cabo é disponibilizado por meio do compartilhamento da rede de TV a cabo existente no endereço físico do usuário. Conseqüentemente, este tipo de acesso necessita de um modem específico, chamado de *cable* modem, instalado do lado do usuário final, possuir uma assinatura da operadora de TV a cabo e um provedor de acesso, dependendo da operadora escolhida (BERNAL FILHO, 2007). Logo, o sinal de Internet é recebido pelo *cable* modem que se comunica com o computador via *ethernet*. Para isso, um equipamento chamado *splitter* faz a divisão do sinal de TV e dos dados permitindo a navegação na WWW que estará ativa 24 horas por dia ao usuário. Entretanto, o serviço de acesso via cabo é oferecido apenas na área de cobertura da operadora de TV a cabo, ficando restrito a algumas regiões.

---

<sup>11</sup> Valores consultados no provedor Engeplus no dia 01 de abril de 2008.

Por outro lado, onde é possível este meio de acesso são oferecidos diversos planos de velocidade de conexão que variam de 128 Kbps até 24 Mbps. Contudo, o custo pelo acesso via cabo depende do plano contratado, fixando um valor para um limite de tráfego de dados pela rede e cobrando o que é excedido ou então sem limite de dados (PETRACIOLI, 2008). Além disso, o modo de autenticação do usuário na Internet inicia-se na operadora da conexão a cabo e em seguida pelo provedor de acesso a Internet. Porém, pode-se salvar esses dados no modem permitindo que a conexão seja iniciada automaticamente assim que ligar o computador (BERNAL FILHO, 2007). A Figura 31 ilustra a infra-estrutura física do acesso a Internet via cabo.

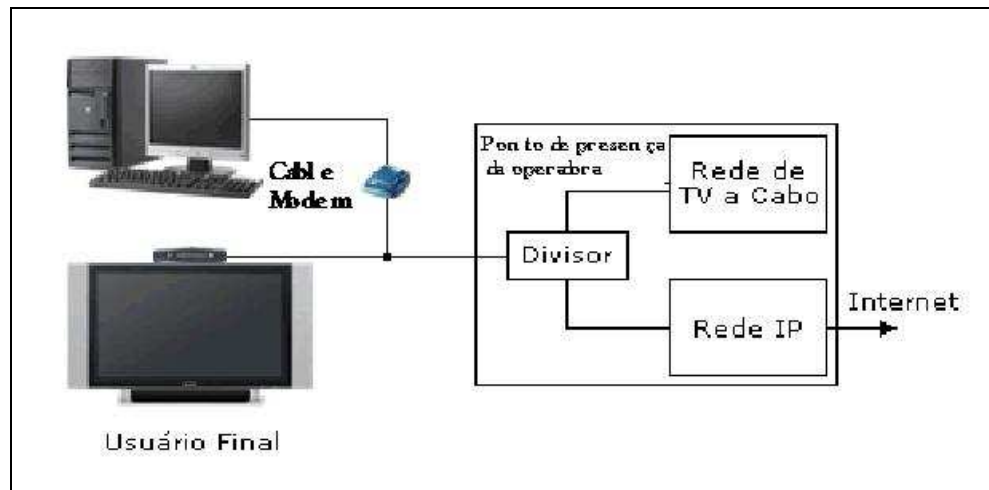


Figura 31. Infra-estrutura física do acesso via cabo  
Fonte: BERNAL FILHO (2007)

## 5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS DAS TECNOLOGIAS

Este item tem como propósito demonstrar os meios de acesso à Internet, relatados ao longo do capítulo 5, comparando-os com a tecnologia PLC. Portanto, as tecnologias apresentadas como solução de conectividade à Internet para residências estão expostas na Tabela 1. Entretanto, a comparação apresentada na Tabela 1 é com relação ao custo das operadoras para disponibilizar os serviços ao usuário, sem o custo da implantação dos

mesmos. Outro fato importante que se refere a tecnologia PLC é que não existe a comercialização na região de Criciúma à Internet via PLC *Outdoor*.

Tabela 1. Comparativo entre as tecnologias de acesso

| Meio de acesso     | Taxa de Transmissão | Custo                    |
|--------------------|---------------------|--------------------------|
| Discado            | Máx. 56 Kbps        | Pulso telefônico         |
| ADSL               | 250 Kbps            | R\$ 59,90                |
| Rádio              | 300 Kbps            | R\$ 50,00                |
| Satélite           | 128 Kbps            | R\$ 499,00 <sup>12</sup> |
| Celular            | 115 Kbps            | R\$ 10,00                |
| WI-FI (Hot-spots)  | 11 Mbps             | R\$ 24,95                |
| Wimax              | Máx. 75 Mbps        | -                        |
| Óptico             | 2 Mpbs              | R\$ 50,00                |
| TV à Cabo          | 2 Mbps              | R\$ 99,90                |
| PLC <i>Outdoor</i> | 56 Mbps             | -                        |

Conforme a Tabela 1, o meio de acesso discado é o que possui a menor taxa de transmissão de dados entre as tecnologias comparadas. Além disso, o usuário que efetuar uma conexão à Internet por este meio de acesso tem o custo baseado ao seu uso, utilizada geralmente por usuários que apenas consultam seus e-mails ou pesquisas rápidas na WWW permanecendo poucas horas durante o mês.

Os meios de acessos comercializados na região de Criciúma são:

- a) o ADSL;
- b) rádio;
- c) celular, com a franquia de 40Mb;
- d) óptico.

A Internet via satélite, também conhecida de WebRural, é fornecida para todo território nacional. Porém, como apresentado na Tabela 1, é o tipo de acesso que se destacou devido ao alto custo da assinatura mensal para uma taxa de transferência relativamente baixa.

<sup>12</sup> Valor consultado no site <http://www.ruralweb.inf.br/ruralweb/> em 15/04/2008.

A tecnologia WI-FI está disponibilizada para usuários assinantes de um provedor, que em locais públicos utilizam os pontos de acesso chamados *Hot-spots*. Em Criciúma a tecnologia WI-FI não está disponibilizada por provedores que fornecem acesso à Internet para a região. Porém, no estado de Santa Catarina existem pontos de acesso WI-FI nas cidades de Florianópolis, Joinville, Garopaba e Navegantes em locais como cafés, hotéis e aeroportos.

Entretanto, a Internet via cabo não é disponibilizada para a região de Criciúma. O valor apresentado na Tabela 1 foi consultado na empresa Net Serviços<sup>13</sup> localizada em Florianópolis.

O serviço Wimax tem como finalidade prover acesso sem fio tanto para acesso móvel como o acesso fixo. Entretanto, não é possível compará-la devido as dificuldades em encontrar os custos em relação a comercialização dos equipamentos. A Tabela 2 apresenta um comparativo de velocidade e custo de implantação de uma LAN na residência de estudos com as devidas tecnologias que pode ser aplicada, com base em dois microcomputadores.

Tabela 2. Comparativo de tecnologias para uma LAN residencial

| <b>Meio de acesso</b>     | <b>Taxa de Transmissão</b> | <b>Custo</b> |
|---------------------------|----------------------------|--------------|
| WI-FI (Wireless)          | 54 Mbps                    | R\$ 538,80   |
| PLC <i>Indoor</i>         | 56 Mbps                    | R\$ 362,12   |
| Rede de cabo par trançado | 100 Mbps                   | R\$ 653,40   |

O valor exposto na Tabela 2 para o meio de acesso à Internet via PLC *Indoor* é referente aos equipamentos adquiridos pelo autor. Estes equipamentos são adaptadores de utilização *Indoor* para a realização de testes da tecnologia na rede elétrica da residência do autor. Ainda, cada tomada elétrica da residência é um ponto de conexão, onde comparativo demonstrado na Tabela 2 tem como objetivo apresentar o valor total para habilitar o mesmo número de conexões possíveis<sup>14</sup> com a tecnologia PLC *Indoor*. Entretanto, com uma rede Wireless a cobertura do sinal é por toda a residência. Porém, o valor apresentado na tabela de

<sup>13</sup> Valor consultado no site <http://nettv.globo.com/NETServ/> em 16/04/2008.

<sup>14</sup> A residência onde realizou-se os testes com os adaptadores PLC possui 22 tomadas elétricas.

comparativo das tecnologias LAN foi para habilitar o mesmo número de pontos de acesso utilizando uma rede de cabo par trançado no interior da residência. O custo apresentado estão expostos no apêndice A.

Cabe ressaltar que os valores apresentados na Tabela 1 e Tabela 2 foram expostos com prioridade ao custo mínimo para a disponibilidade dos meios de acesso à Internet estudado ao longo do Capítulo 5.

## 6 TRABALHOS CORRELATOS

No decorrer dos estudos referentes a este trabalho foram analisadas algumas publicações nesta área a nível nacional, estadual e regional, apresentadas a seguir.

### 6.1 ESTUDO SOBRE COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA PARA APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL/PREDIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de engenheiro pelo curso de Graduação em Engenharia de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Informática, publicado em Janeiro de 2004.

O trabalho tem como objetivo a utilização da comunicação de dados pela rede elétrica na área de automação residencial e predial, abordando a descrição dos principais conceitos e tecnologias empregadas para a finalidade do estudo. Cita-se as aplicações desenvolvidas no Brasil e exterior, comparação entre os modems para comunicação via rede elétrica e a realização de testes para avaliar a influência do ruído e a distância de comunicação em redes elétricas brasileiras (VARGAS, 2004).

### 6.2 PLC – POWER LINE COMMUNICATIONS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel pelo curso Bacharelado em Sistemas de Informação da União Educacional de Minas Gerais, publicado em Junho de 2004.

Neste trabalho, o principal objetivo é fazer um estudo sobre a transmissão de dados em banda larga via rede elétrica testada pelas distribuidoras de energia elétrica, tratando

temas como histórico, qualidade de serviço, tecnologia empregada, regulamentação, dificuldades nos testes realizados. Além disso, no trabalho foi colocado em que fase está a tecnologia PLC no Brasil e no exterior, bem como um comparativo com outra tecnologia de banda larga (ADSL) (CORRÊA, 2004).

### 6.3 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO PLC IN HOME

Trabalho intitulado como “Avaliação Tecnológica do “PLC IN HOME””, apresentado para obtenção do título de Engenheiro em Telecomunicações da Universidade Regional de Blumenau, publicado em 2004.

Este trabalho trata de uma segmentação do PLC, o “PLC in Home”, que visa um enlace de comunicação de dados limitado à distância e sem a necessidade de que os dados trafeguem pelos transformadores da rede de distribuição elétrica (ZIMMERMANN, 2004).

### 6.4 ABRANGÊNCIA DA TECNOLOGIA PLC

Trabalho de conclusão de curso intitulada como “Uma Visão Geral Sobre a Tecnologia PLC”, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de engenheiro pelo curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Goiás, publicado em Fevereiro de 2004.

O trabalho que segue apresenta conceitos básicos e técnicos do funcionamento da tecnologia PLC, vantagens comerciais tanto para as operadoras, provedores de acesso e usuários finais, bem como suas limitações. Ao final, o trabalho apresenta a realidade do PLC no Brasil e os testes realizados das principais operadoras de energia do país (ANDRADE; SOUZA, 2004).

## 6.5 ANÁLISE DA TRANSMISSÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO

Dissertação intitulada como “A Viabilidade da Transmissão de Dados em Redes de Energia Elétrica de Baixa Tensão”, apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, publicado em Maio de 2002.

O trabalho explana a utilização da rede de energia elétrica como um canal de transmissão de dados, focalizando as redes de comunicação LANs, descrevendo, identificando os recursos e as técnicas básicas utilizando esse meio físico. Além disso, apresenta um estudo experimental da tecnologia na empresa COPEL demonstrando o aproveitamento da infraestrutura de linhas e redes de distribuição como meio de comunicação e a diversidade de aplicações a serem desenvolvidas com a tecnologia PLC (MORAES, 2002).

## 7 CASO DE USO DA TECNOLOGIA PLC

Como já explanado anteriormente, a tecnologia PLC utiliza a rede de energia elétrica para realizar a transferência de dados, podendo ser aplicado em edifícios ou residências onde as instalações elétricas internas formam uma rede local de comunicação.

Desta forma, possibilita que regiões distantes dos centros urbanos utilizem este meio de transferência de dados de alta velocidade, aumentando a funcionalidade do sistema de transmissão e de distribuição elétrica tornando o mesmo um canal de transporte de dados, conseqüentemente diminuindo as barreiras dos meios de conectividade.

Isto porque, com o aumento da procura por serviços de comunicações e com a falta de infra-estrutura física de telecomunicações para levar os sinais de transmissão de dados até o consumidor final, a tecnologia PLC tende a suprir essa demanda.

Logo, serviços como acesso à banda larga, vídeo sob demanda, automação residencial, serviços de vigilância, entre outros poderão ser oferecidos pelas empresas de distribuição de energia elétrica. Além disso, esses tipos de serviços já estão em uso comercial no exterior em países da Europa, Leste Europeu, Ásia e América Latina, com conexões banda larga via PLC.

Por conseguinte, o proposto trabalho explanou um estudo da tecnológica do PLC na comunicação de dados utilizando a rede de energia elétrica de baixa tensão. Baseado nisto, criou-se uma rede LAN, com a tecnologia PLC *Indoor*, para realizar testes em uma residência com equipamentos. Além disso, foi realizado um estudo de como a distância e o ruído, gerado na rede elétrica, podem interferir no desempenho da comunicação de sinais de dados. Realizou-se também um levantamento das tecnologias de banda larga disponíveis no mercado, comparando-as com a tecnologia PLC.

## 7.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL UTILIZADO NO ESTUDO DO PLC

Na realização do trabalho visando a criação de um ambiente tecnológico PLC *Indoor* foram utilizadas as instalações elétricas de uma residência para avaliar a aplicabilidade da tecnologia. Logo, a residência escolhida possui em suas instalações outras tecnologias como meios de acessos à Internet que proporcionam um ambiente ideal necessário para a realização dos testes sobre o PLC *Indoor*, eliminando as limitações de acesso físico ao ambiente de estudo, pois a mesma é de propriedade do autor.

A residência é de edificação mista e foi construída em duas fases: a primeira fase da construção iniciou-se em 1978 e concluída no mesmo ano, constituída basicamente de madeira e com instalações elétricas não projetadas. A segunda fase da construção da residência foi iniciada em 1983 e seu término no ano seguinte, constituída de material de alvenaria e com instalações elétricas não projetadas por engenheiro eletricista. Logo, as instalações elétricas da residência, que recebe uma voltagem de 220 volts, em tempo algum passaram por restauração geral, apenas manutenções preventivas e corretivas foram efetuadas durante os anos consecutivos para preservar a sua funcionalidade. Assim, conforme descrita a residência, a Figura 32 esclarece a mesma externamente.



Figura 32. Residência dos testes realizados com a tecnologia PLC

Conseqüentemente, a estrutura física da rede elétrica da residência que foi escolhida para a elaboração dos testes com o PLC *Indoor* está ilustrada na Figura 33 que demonstra a planta baixa com suas respectivas tomadas e linhas elétricas internas.

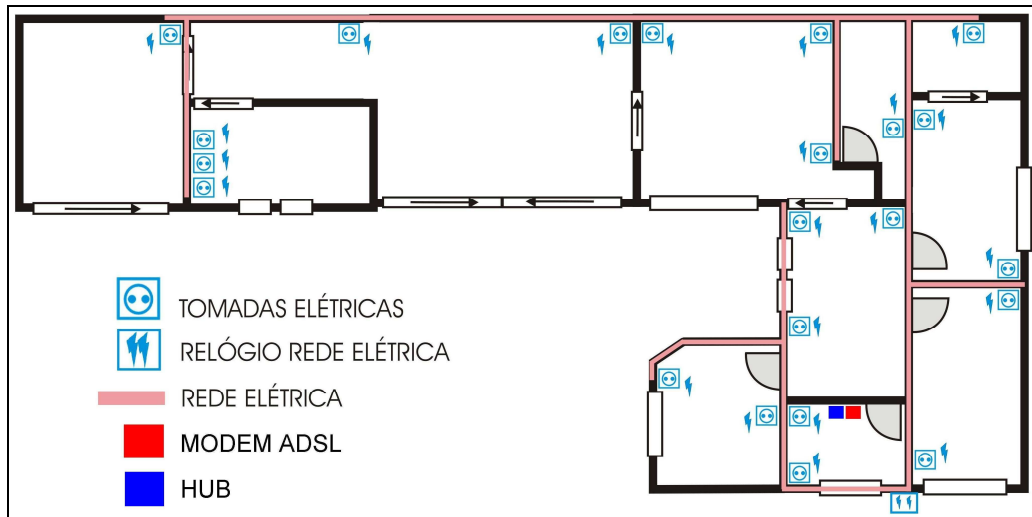


Figura 33. Planta baixa da residência e instalações elétricas

A residência é constituída por uma estrutura elétrica com fios de cobre sólidos de cinco milímetros de espessura que percorre todas as divisões da mesma. Porém, os fios utilizados para conectar as tomadas elétricas à rede de fios de cobre sólidos são do tipo autoflexível de 2,5 milímetros de espessura. As tomadas elétricas que constituem a estrutura da rede elétrica da residência são do tipo bipolar universal, que foram projetadas por seus fabricantes para suportar plugues bipolares de até 250 volts conforme ilustrado na Figura 34.

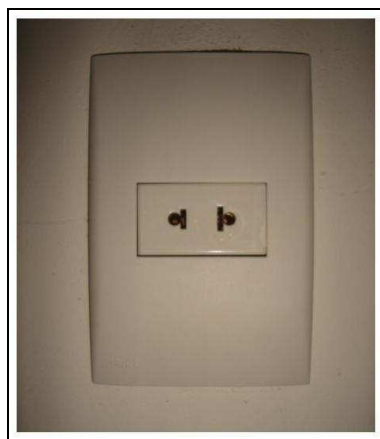


Figura 34. Tomada elétrica com suporte a plugues bipolares

Além disso, na residência estão instalados quatro microcomputadores distribuídos em três cômodos da mesma. O fornecimento de Internet na residência é feito pelo meio de

acesso via ADSL da operadora de telefonia fixa Brasil Telecom, com um plano Turbo 250<sup>15</sup> por um valor fixo pelo sinal de R\$ 59,90 mensais e provedor de acesso por R\$ 19,90 mensais para efetuar a autenticação do acesso. Portanto, para fornecer a Internet via ADSL para os microcomputadores distribuídos na residência foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) *hub* de oito portas 10/100 Mbps;
- b) modem ADSL *Ethernet*.

Logo, o modem recebe o sinal de acesso ADSL da operadora de telefonia fixa contratada onde o mesmo está configurado para efetuar a autenticação do usuário na Internet segundos após o seu carregamento elétrico. Assim, o modem ADSL utilizado para efetuar a conexão com a Internet na residência permanece *on-line* 24 horas por dia durante os sete dias da semana. Em seguida, foi estabelecida uma conexão com o *hub* via cabo par trançado *unshielded twisted pair*<sup>16</sup> (UTP) categoria 5e<sup>17</sup> para compartilhar o meio de acesso à Internet via ADSL com todos os microcomputadores. Portanto, foi criada uma rede local LAN via cabo par trançado UTP categoria 5e para tal situação. Assim, o compartilhamento do meio de acesso à Internet via ADSL está ilustrada conforme Figura 35.

---

<sup>15</sup> Taxa de transferência para download de até 250 Kbps e upload de até 128 Kbps

<sup>16</sup> Cabo par trançado não blindado

<sup>17</sup> Transmissão de dados à 100 Mbps



Figura 35. Estrutura de compartilhamento da Internet via ADSL

A Figura 36 ilustra a distribuição do sinal para os microcomputadores da residência.

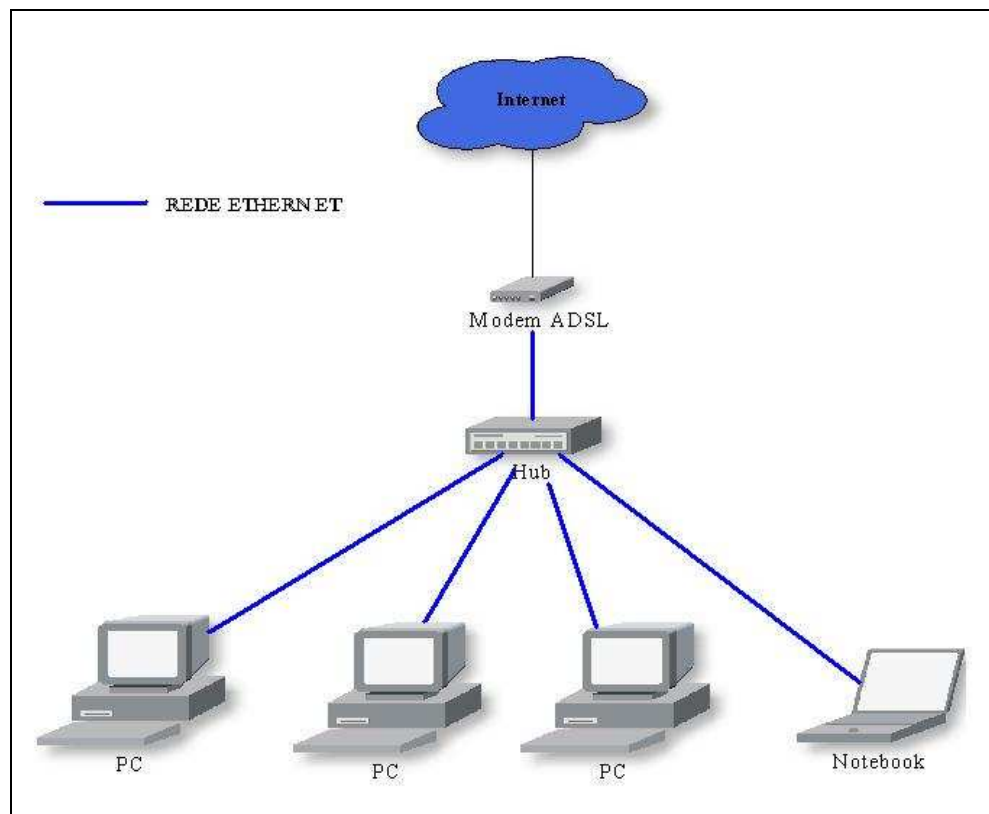


Figura 36. Modo de compartilhamento de Internet na residência

Além disso, outros meios de acesso à Internet estão disponibilizados para eventuais paradas do sistema ADSL como, por exemplo, via discado e móvel (celular) oferecidos em apenas um microcomputador.

## 7.2 IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA PLC NA RESIDÊNCIA

A aplicabilidade da tecnologia PLC na residência com os adaptadores PLC em conjunto com o meio de acesso ADSL criou um ambiente de rede amplo para a realização de testes. Portanto, este capítulo tem como objetivo realizar um estudo da tecnologia PLC *Indoor* fundamentada no decorrer do projeto. Dessa forma, para a realização de testes foi montada uma estrutura PLC *Indoor* conforme a Figura 37 a seguir.

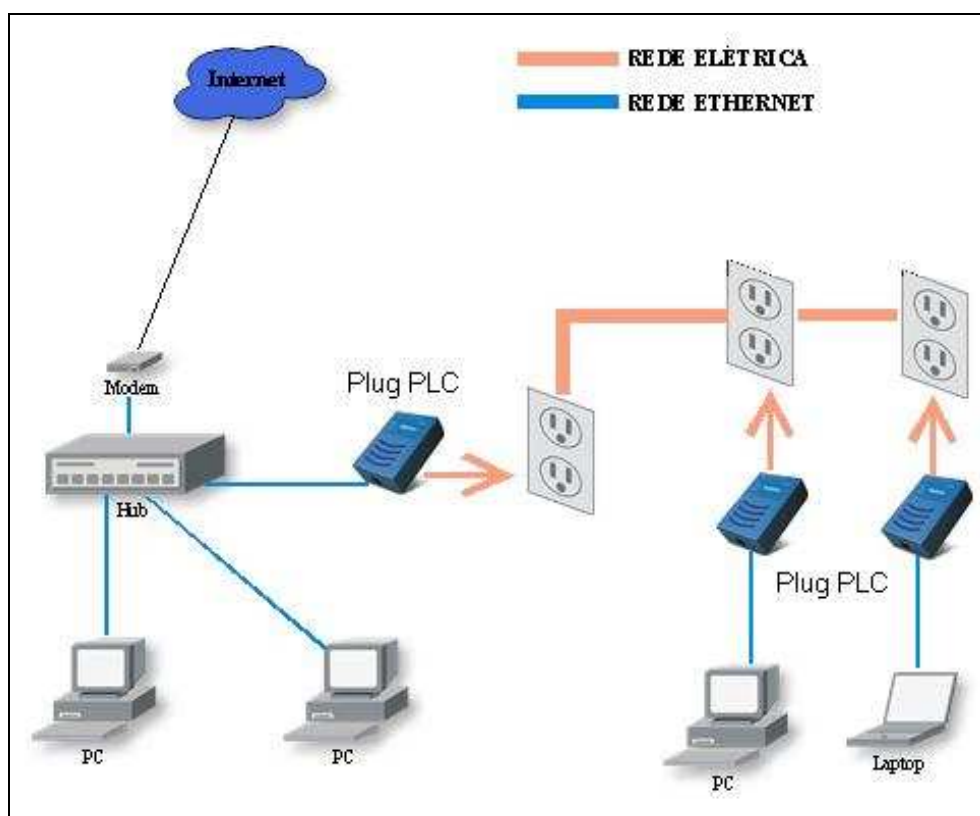


Figura 37. Estrutura de testes PLC na residência

O sinal ADSL recebido pelo modem é compartilhado pelo *hub*, conforme apresentado no item 7.1 e injetado na rede elétrica por um adaptador PLC do tipo plugue, específico para uso *Indoor* da tecnologia PLC. O adaptador possui uma porta *ethernet* RJ-45

que recebe o sinal do *hub*, onde ambos estão conectados por um cabo ethernet de categoria 5e com 1,8 metros de comprimento. Assim como visto no item 4.2.2, com o equipamento PLC conectado à tomada elétrica o sinal de dados é transmitido para o restante das tomadas elétricas existentes na residência, tornando-as pontos de conexões para outros microcomputadores ou dispositivos. Para isso, outros adaptadores PLC foram conectados diretamente à tomada elétrica para efetuar a conexão *Indoor*, onde estes estão igualmente conectados aos microcomputadores por meio de uma porta ethernet RJ-45 conforme apresentado anteriormente na Figura 37. Dessa forma, criou-se uma rede LAN com a tecnologia PLC e com acesso à Internet para os microcomputadores pertencente a mesma.

A rede LAN construída na residência com a tecnologia PLC foi rapidamente formada, pois não houve a necessidade de instalar programas ou *drivers* de configuração dos adaptadores PLC nos microcomputadores, bastando apenas plugá-los nas tomadas elétricas definidas pelo autor. Conseqüentemente, a tomada elétrica utilizada para conectar o adaptador que envia o sinal ADSL para as outras está localizada próximo ao modem ADSL e o *hub*, conforme a Figura 38.



Figura 38. Adaptador PLC conectado a tomada elétrica

Cabe ressaltar que mesmo com redes LAN distintas fisicamente na residência, notou-se que a rede PLC *Indoor* foi reconhecida para o sistema operacional dos microcomputadores de forma transparente. Isto porque, as configurações dos microcomputadores permaneceram inalteradas, com o mesmo grupo de trabalho para cada um e seus respectivos IP. Na residência a rede PLC *Indoor* foi composta por um microcomputador e um notebook que possuem placa de rede ethernet 10/100 Mbps, estabelecendo a comunicação entre os demais conectados a rede LAN de cabo *ethernet* conforme apresentado na Figura 37. Assim, a Figura 39 apresenta o ambiente de rede como grupo de trabalho denominado “CASA” formado pelos microcomputadores.

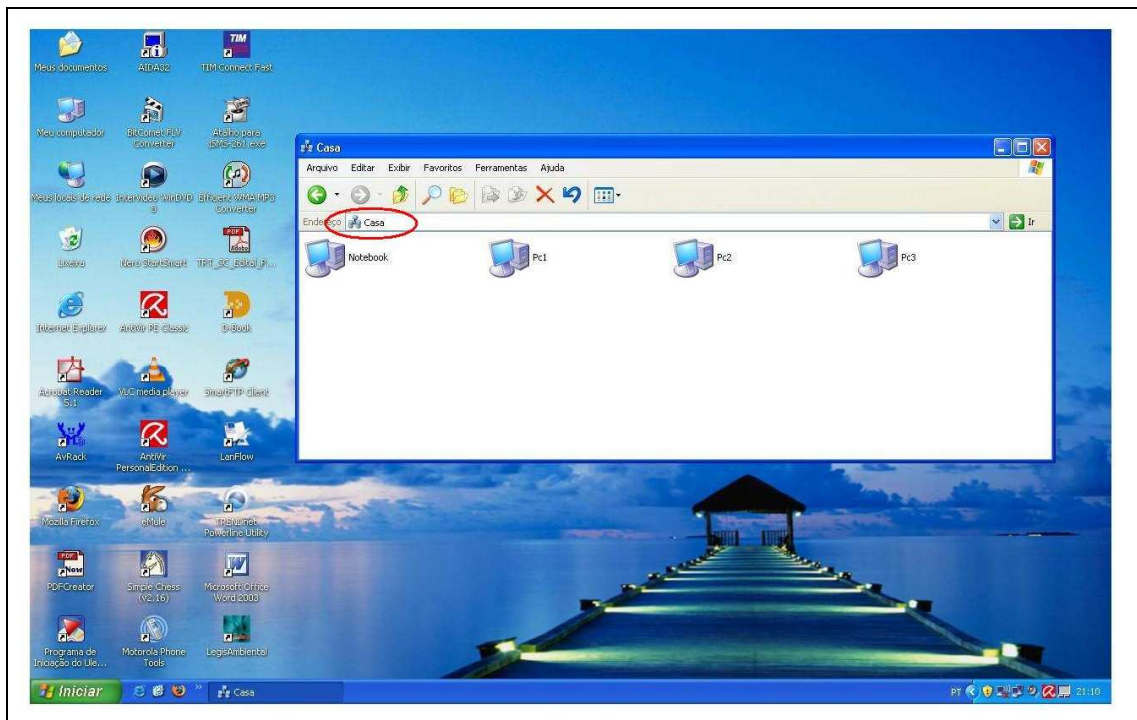


Figura 39. Grupo de trabalho e seus respectivos microcomputadores

Portanto, com a estrutura da rede PLC *Indoor* montada e funcionando, tornou possível a realização de testes com a tecnologia na residência do autor.

### 7.3 ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS PLC UTILIZADOS NA RESIDÊNCIA

Para a realização dos testes com a tecnologia PLC *Indoor* foram necessários três adaptadores PLC com as seguintes especificações conforme apresentada nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Especificação do adaptador TPL-202E

| <b>Marca/Modelo</b> | <b>Especificações</b> |  |
|---------------------|-----------------------|--|
| Trendnet TPL-202E   | Padrões               | IEEE 802.3, IEEE 802.3u, HomePlug 1.0 Turbo                    |
|                     | Comunicação           | Porta RJ-45 Auto-MDIX 10/100 Mbps<br>Pinos chatos para tomadas |
|                     | Frequência de banda   | 4.5 a 21 MHz   |
|                     | Modulação             | OFDM   |
|                     | Velocidade            | Powerline: Até 85 Mbps<br>RJ45: 10/100 Mbps                    |
|                     | SO suportados         | Windows 98SE/ME/2000/XP  |
|                     | Encriptação           | DES 56-bit com gerenciamento de chave                          |
|                     | Tensão de entrada     | entrada: 100 a 240 VAC, 50/60 Hz                               |
|                     | Consumo               | 2.5 Watts (máx.)   |
|                     | Método de acesso      | CSMA/CA  |
|                     | Distância             | até 300 metros   |

Fonte: Trendware (2006)

Tabela 4. Especificação do adaptador Plug Fácil 56 Mbps

| <b>Marca/Modelo</b> | <b>Especificações</b> |  |
|---------------------|-----------------------|--|
| Plug Fácil 56 Mbps  | Padrões               | IEEE 802.3, IEEE 802.3u<br>HomePlug 1.0.1                      |
|                     | Comunicação           | Porta RJ-45 Auto-MDIX 10/100 Mbps<br>Pinos chatos para tomadas |
|                     | Frequência de banda   | 4.3 a 20.9 MHz   |
|                     | Modulação             | OFDM   |
|                     | Velocidade            | Powerline: Até 56 Mbps<br>RJ45: 10/100 Mbps                    |
|                     | SO suportados         | Windows 98SE/ME/2000/XP/MAC/LINUX                              |
|                     | Encriptação           | DES 56-bit com gerenciamento de chave                          |
|                     | Tensão de entrada     | entrada: 100 a 240 VAC, 50/60 Hz                               |
|                     | Consumo               | 2.5 Watts (máx.)   |
|                     | Método de acesso      | CSMA/CA  |
|                     | Distância             | até 100 metros   |

Fonte: Plug Fácil (2007)

O adaptador TPL-202E da Trendnet foi adquirido em uma loja de vendas *on-line* de São Paulo no dia 06 de dezembro de 2007, com um custo de R\$ 278,12 por uma unidade do equipamento. Entretanto, é um equipamento importado da fabricante Trendnet com produção na China. A embalagem do equipamento contém um adaptador PLC especificado na Tabela 3, um guia de instruções rápida, um cabo ethernet de 1,8 metros categoria 5e com RJ 45 e um CD-Rom com utilitário que mede o desempenho da rede PLC *Indoor*. A Figura 40 apresenta o conteúdo da embalagem como explanado neste.



Figura 40. Conteúdo da embalagem Trendnet

O utilitário que verifica a qualidade do sinal PLC e a velocidade da conexão do adaptador PLC TPL-202E na rede elétrica da residência é apresentado na Figura 41.

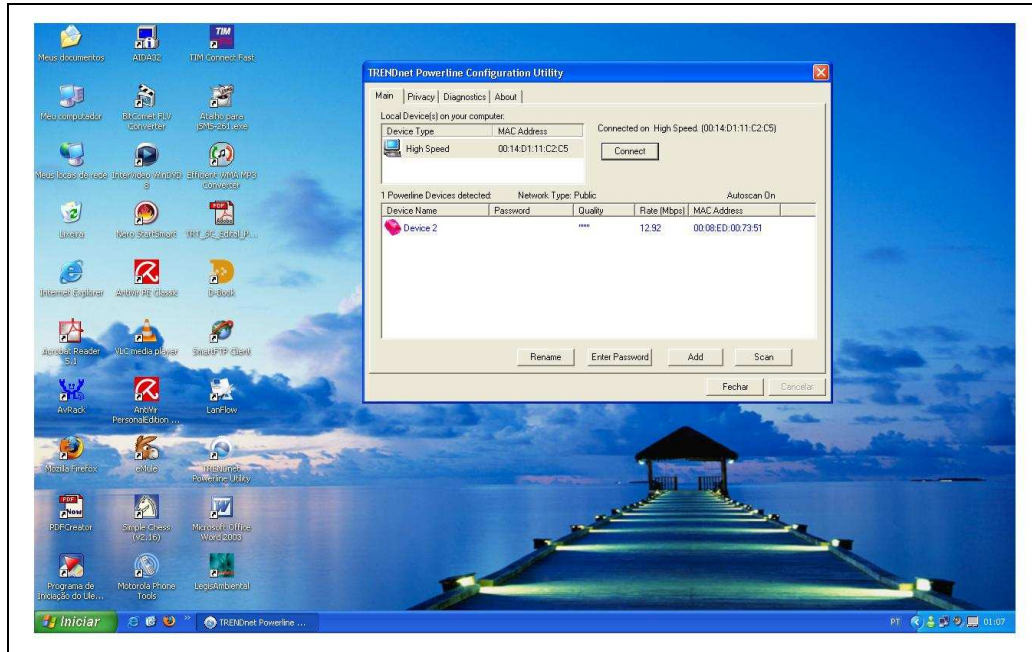


Figura 41. Utilitário do adaptador PLC Trendnet

Por outro lado, o adaptador Plug Fácil modelo 56 Mbps foi adquirido em uma loja de vendas *on-line*, situada no Rio de Janeiro no dia 01 de abril de 2008 com um custo de R\$ 362,12. Esse valor é referente a uma embalagem que contém dois adaptadores PLC Plug Fácil Powerline Ethernet Bridge 56 Mbps, com os respectivos cabos ethernet de 1,8 metros categoria 5e com RJ-45 e um manual de instruções. Assim, o conteúdo da embalagem Plug Fácil Powerline Ethernet Bridge está representado conforme a Figura 42.



Figura 42. Conteúdo da embalagem Plug Fácil

Este equipamento é produzido no Taiwan e importado e distribuído no Brasil por intermédio da empresa Link do Brasil Produtos Eletrônicos Ltda. Durante os testes com a tecnologia PLC, outro par de adaptadores PLC foram utilizados permitindo formar uma rede LAN PLC com todos os microcomputadores na residência. Entretanto, os adaptadores explanados são da fabricante NAXOS da linha *Home Plug PowerLine Ethernet* modelo ATHP-007LR. Esse par de adaptadores PLC possui as características expostas conforme na Tabela 5.

Tabela 5. Especificação do adaptador Naxos Tecnologia

| <b>Marca/Modelo</b> | <b>Especificações</b> |  |
|---------------------|-----------------------|--|
| NAXOS<br>ATHP-007LR | Padrões               | HomePlug 1.0.1   |
|                     | Comunicação           | Porta RJ-45 Auto-MDIX 10/100 Mbps<br>Pinos chatos para tomadas |
|                     | Frequência de banda   | 30 MHz à 3 GHz   |
|                     | Modulação             | OFDM   |
|                     | Velocidade            | Powerline: Até 85 Mbps<br>RJ45: 10/100 Mbps                    |
|                     | SO suportados         | Windows 98SE/ME/2000/XP/MAC/LINUX                              |
|                     | Encriptação           | DES 56-bit com gerenciamento de chave                          |
|                     | Tensão de entrada     | entrada: 100 a 240 VAC, 50/60 Hz                               |
|                     | Consumo               | 9 Watts (máx.)   |
|                     | Método de acesso      | CSMA/CA  |
|                     | Distância             | até 300 metros   |

Fonte: Manual do usuário Naxos (200?)

O utilitário que verifica a qualidade do sinal PLC e a velocidade da conexão do adaptador PLC ATHP-007LR na rede elétrica da residência é apresentado na Figura 43.

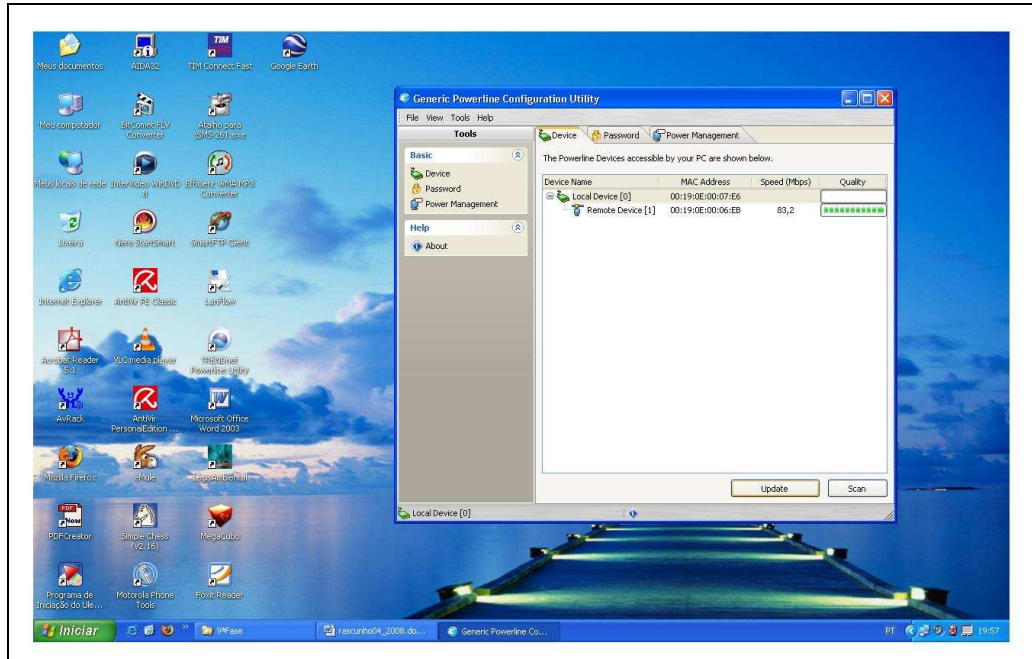


Figura 43. Utilitário do adaptador Naxos

Cabe ressaltar, que os equipamentos utilizados para os estudos da tecnologia PLC em uma residência não possuem certificados de homologação da ANATEL, regulamentados apenas com a FCC.

#### 7.4 TESTES REALIZADOS COM O PLC *INDOOR*

Com a estrutura PLC *Indoor* montada na residência, iniciou-se a realização de testes com um simples comando *ping*<sup>18</sup> para testar a conexão entre os microcomputadores pertencente à rede PLC. Ficou evidenciado nesse teste que todos os pacotes enviados foram respondidos pelo microcomputador de destino, sem perdas de pacotes como apresentado na Figura 44.

<sup>18</sup> Comando que envia pacotes para o equipamento de destino obtendo resposta caso o mesmo estiver ativo.

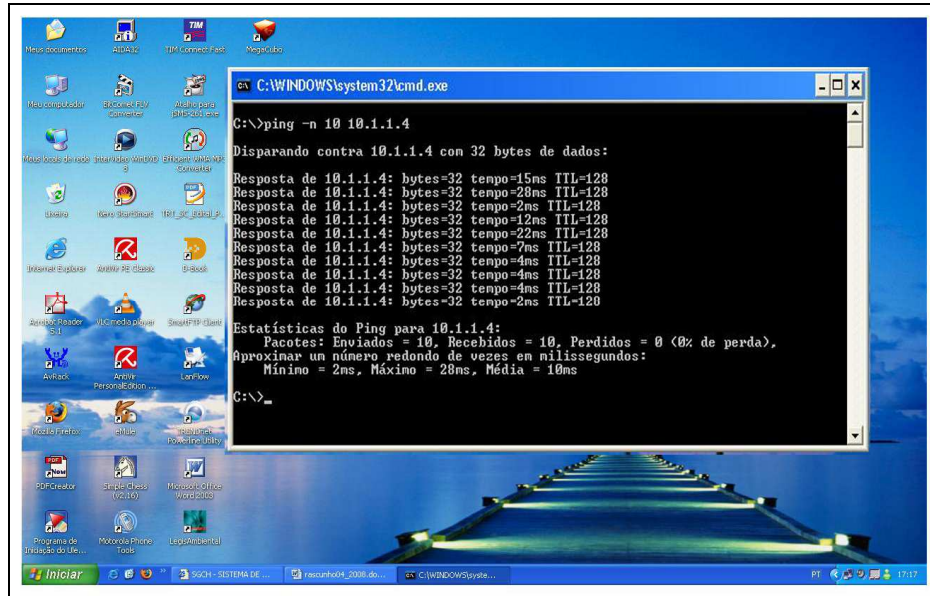


Figura 44. Teste com o comando *ping* para verificar a conexão da rede PLC *Indoor*

Além disso, o comando *ping* apresentou o tempo mínimo de resposta do destino de 2 milissegundos, o tempo máximo ficou com 28 milissegundos e a média foi de 10 milissegundos. Cabe destacar que mesmo com os adaptadores projetados para conexões de até 85 Mbps (adaptador TPL202-E), notou-se que a taxa de transferência não ultrapassava os 14 Mbps. Com isso, os resultados obtidos pelo comando ping foram apresentados com o adaptador PLC denominado *Device 1* trabalhando com uma taxa de 12,05 Mbps a uma distância de 4 metros entre os microcomputadores, conforme exibido no utilitário de medição de sinal e velocidade PLC no momento do teste e apresentado na Figura 45.

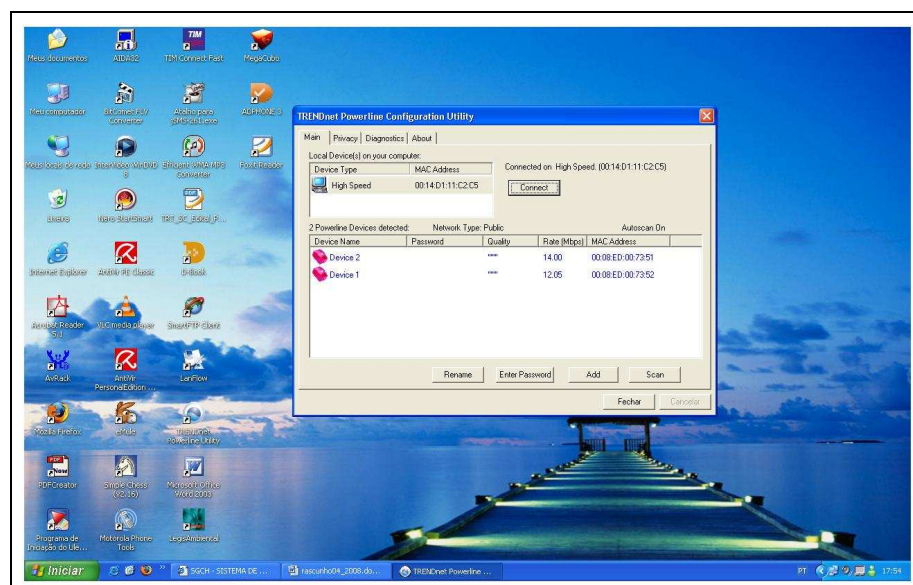


Figura 45. Taxas de transferência dos adaptadores PLC

Portanto, a Figura 45 apresenta os três adaptadores PLC em pleno funcionamento, permitindo o seu uso. O utilitário da Trendnet Powerline Configuration apresentou além dos três adaptadores com seus respectivos endereços MAC, a qualidade do sinal e a velocidade de operação dos adaptadores Plug Fácil Powerline Ethernet Bridge 56 Mbps denominados automaticamente como *Device 1* e *Device 2*. O adaptador PLC denominado *Device 1* faz a conexão para o microcomputador de testes PLC e *Device 2* faz a ligação entre a rede LAN com o sinal ADSL. Entretanto, o adaptador TPL202-E utilizado para conectar o notebook na rede PLC *Indoor* recebeu a nomeação de *High Speed*, onde apenas este faz a comunicação com o utilitário da Trendnet permitindo mensurar os sinais e as velocidades dos demais adaptadores. Além disso, diversos testes foram realizados para verificar a qualidade dos sinais e taxas de transferência com a tecnologia PLC empregada na residência, com os resultados explanados nos itens posteriores.

#### **7.4.1 Uso do PLC *Indoor* com fontes geradoras de ruídos**

Utilizando os adaptadores PLC na residência, foi possível expor esses equipamentos em situações onde correntes ou tensões indesejáveis são produzidas por outros aparelhos elétricos para verificar o funcionamento da tecnologia em teste. Conseqüentemente, os aparelhos elétricos utilizados para analisar a influência dos ruídos nos sinais de dados PLC são eletrodomésticos de uso cotidiano pertencentes à residência do autor. Além disso, fatores como conexões elétricas oxidadas e emendas com atrito provocam ruídos na estrutura da rede elétrica da residência. Dessa forma, antes de pôr em prática o ruído produzido intencionalmente na rede elétrica, a rede LAN PLC foi submetida a teste com o comando *ping* para verificar o tempo de resposta do microcomputador conectado no adaptador *Device 1*.

Logo, a Figura 46 apresenta o tempo de resposta do teste com o comando *ping* e a taxa de transmissão com o utilitário de medição PLC.

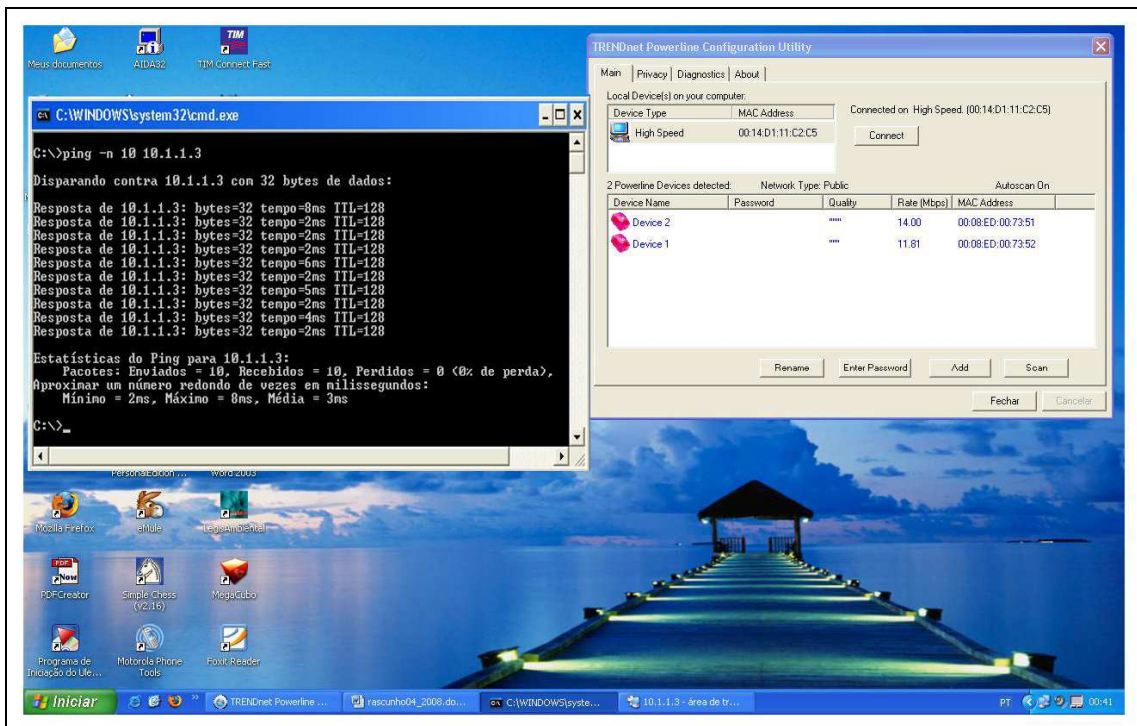


Figura 46. Respostas obtidas com o *ping* e taxas de transferência dos adaptadores PLC

O comando *ping* apresentou o tempo médio de 3 milissegundos, com mínimo de 2 milissegundos e máximo em 8 milissegundos a uma taxa de transferência estável de 11,81 Mbps no momento do teste. Logo após, foi realizado o primeiro teste com um forno de microondas com 950 watts de potência configurado para aquecer durante um minuto no nível máximo<sup>19</sup>. Entretanto, notou-se que este eletrodoméstico não teve influência significativa no tempo de resposta do comando *ping*. Porém, ficou evidente durante a realização do teste que a taxa de transferência do adaptador *Device 1* alterou em diversos momentos, com a velocidade mínima de 6,42 Mbps e a máxima de 12,92 Mbps apresentado no utilitário de medição PLC. O resultado do teste está apresentado na Figura 47.

<sup>19</sup> A escala do nível de potência é regulável de 1 à 10.

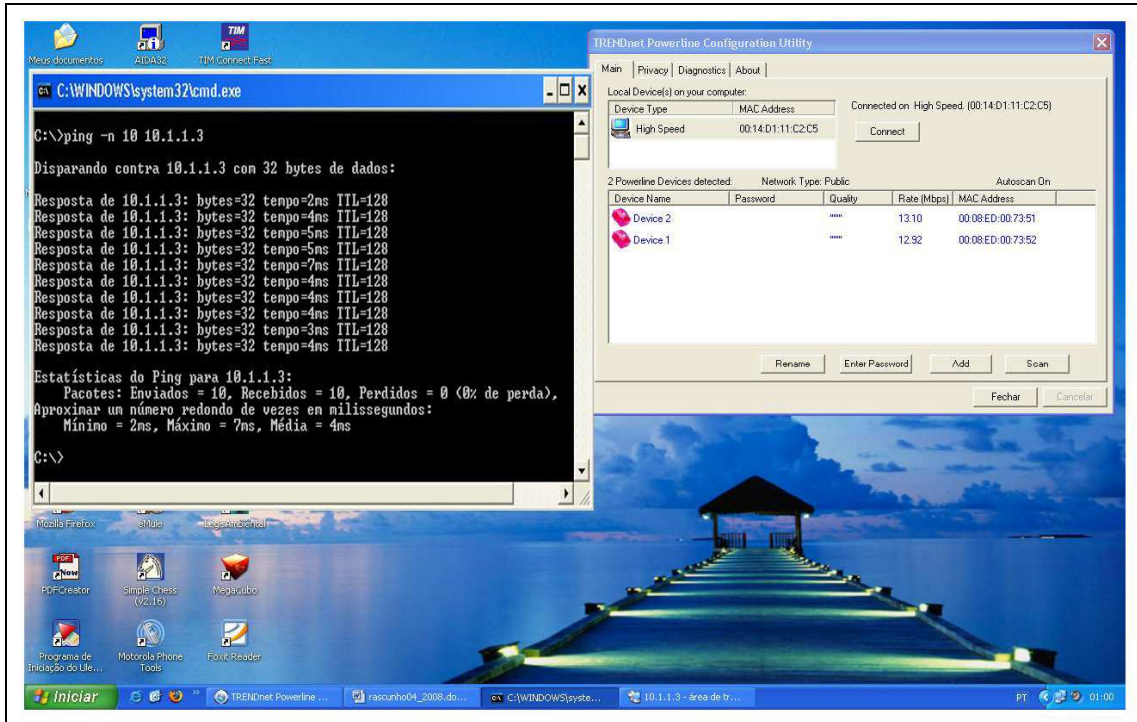


Figura 47. Resultado do teste com o ruído provocado por um forno de microondas

Com isso, o comando *ping* apresentou o tempo médio de 4 milissegundos para o teste realizado com o microondas em funcionamento, onde o tempo mínimo foi de 2 milissegundos e o máximo de 7 milissegundos. Logo após, preparou-se um novo ambiente com uma máquina de secar roupas de 2000 watts de potência que permitiu estudar as taxas de transferência e as respostas dos pacotes enviados ao microcomputador conectado ao adaptador *Device 1*. Assim, com o notebook e um adaptador PLC conectado a uma tomada elétrica no local do teste, permitiu o envio de pacotes de dados com um *ping* para o microcomputador conectado a rede PLC *Indoor*. Os resultados apresentados conforme a Figura 48.

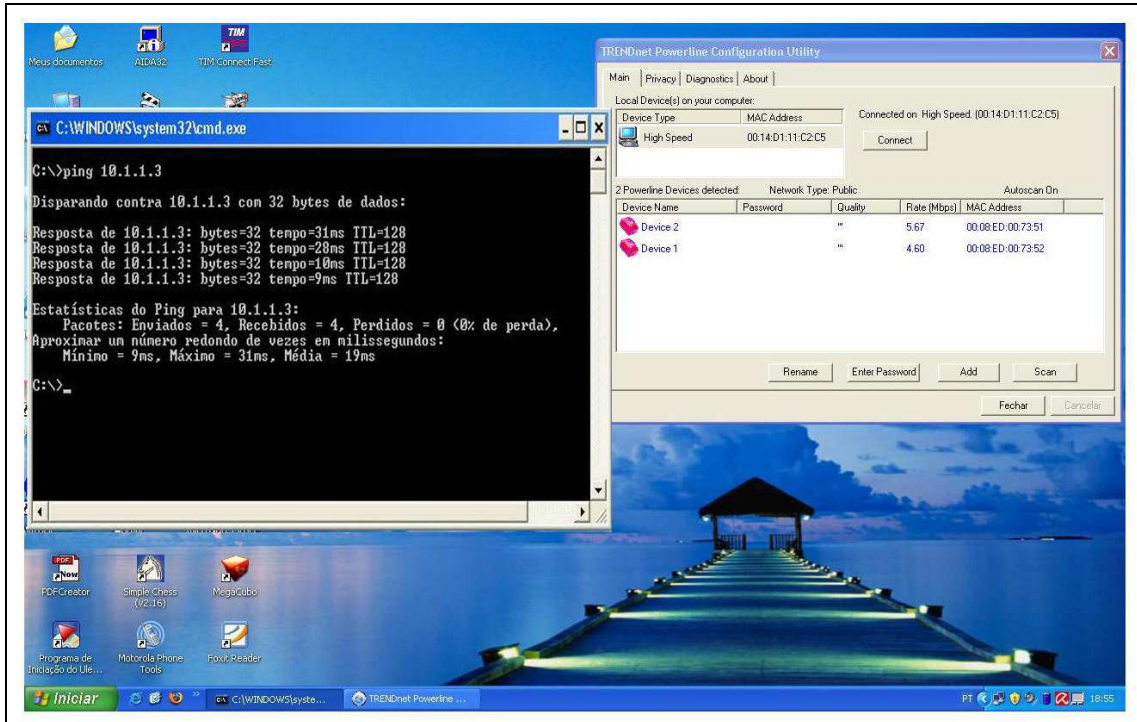


Figura 48. Resultado do teste com o ruído provocado por uma secadora de roupas

Logo, com a secadora de roupas em atividade houve uma diminuição considerável da qualidade do sinal PLC, onde a taxa de transferência que variava entre 10 Mbps à 12 Mbps passando a operar com 4,60 Mbps para o adaptador *Device 1* e 5,67 Mbps para o *Device 2*. Conseqüentemente, o tempo das respostas dos pacotes de dados disparados para o microcomputador conectado na rede PLC tornou-se maior, apresentando tempo mínimo de 9 milissegundos, máximo de 31 milissegundos e a média de 19 milissegundos.

A qualidade do sinal PLC foi submetida a teste com a aplicação de um chuveiro elétrico com 5.200 watts de potência. Assim, com o notebook e um adaptador PLC conectado a uma tomada elétrica no local do teste, possibilitou a realização dos disparos de pacotes de dados na rede PLC com o comando *ping* para microcomputador. A Figura 49 exhibe os resultados obtidos com o chuveiro elétrico em funcionamento.

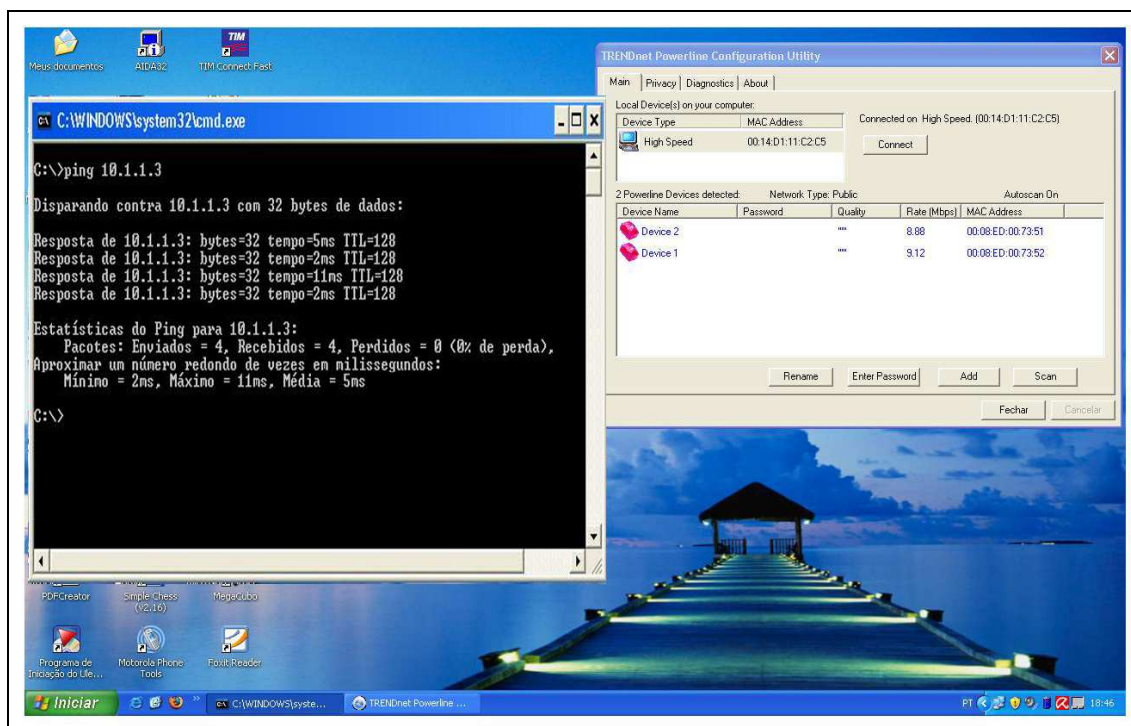


Figura 49. Resultado do teste com o ruído provocado por um chuveiro elétrico

Conforme a Figura 49, a taxa de transferência manteve-se estável no momento do teste do sinal PLC com pequenas variações, sendo que o utilitário de medição PLC sempre apresentava taxas de 8 Mbps à 9,12 Mbps. Da mesma forma, as respostas obtidas dos disparos de pacotes de dados do comando *ping* ficaram com o tempo médio de 5 milissegundos, com mínimo de 2 milissegundos e máximo de 11 milissegundos. Portanto, a influência do ruído provocado pelo chuveiro no sinal PLC foi considerada baixa, embora este equipamento possua uma potência elevada.

Entretanto, o eletrodoméstico que apresentou a maior influência no sinal PLC foi o aspirador de pó com 1.400 watts de potência. Com o notebook e um adaptador PLC conectado a uma tomada elétrica no local do teste, foi possível estudar a taxa de transferência e a qualidade do sinal PLC sob a intensidade do ruído gerado pelo eletrodoméstico. Logo, foi acionado o funcionamento do aspirador de pó e disparados pacotes de dados para o microcomputador pertencente a rede PLC, onde ao mesmo tempo o utilitário de medição analisava o sinal e a taxa de transferência. Assim, os resultados estão apresentados conforme a Figura 50.

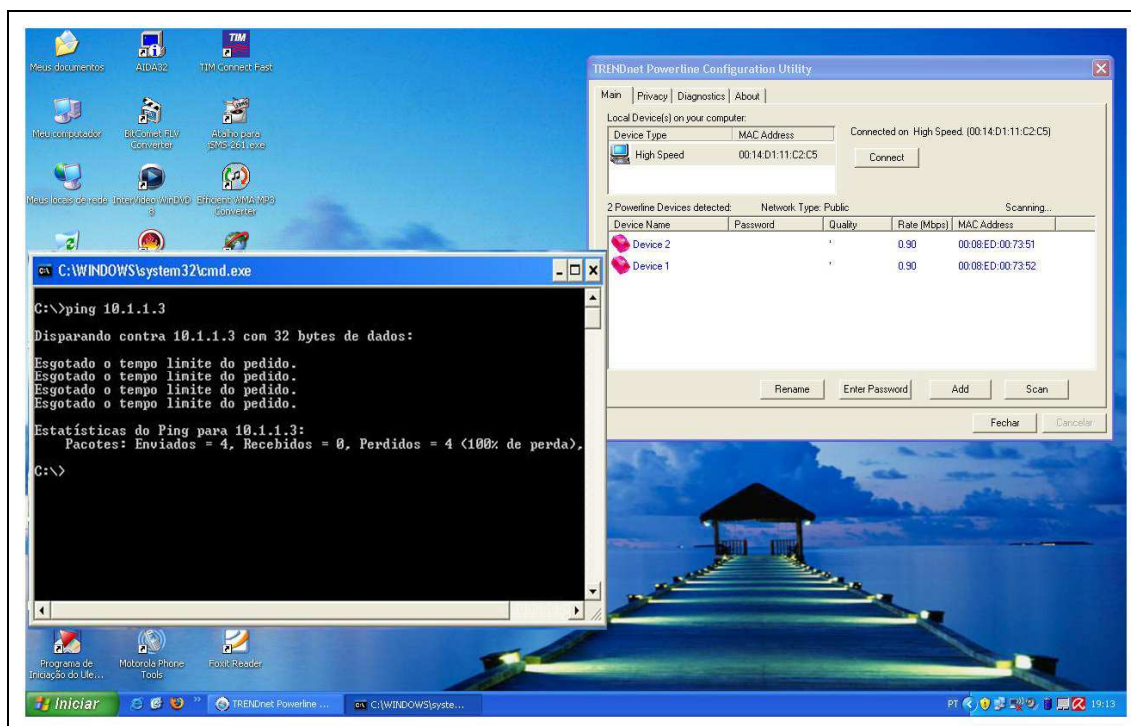


Figura 50. Resultado do teste com o ruído provocado por um aspirador de pó

Dessa forma, a qualidade do sinal PLC sofreu forte influência do ruído provocado com o aspirador de pó, que originou a perda da comunicação conforme notado com o teste de conexão do comando *ping*. Houve quatro disparos de pacotes de dados com o *ping* para o microcomputador da rede PLC, onde as respostas não retornaram com êxito. Além disso, as taxas de transferência dos dois adaptadores PLC analisados por meio do utilitário de medição atingiram velocidades de 900 Kbps. Porém, a qualidade do sinal PLC tornou-se muito baixa para possibilitar a comunicação entre os microcomputadores da rede, onde em vários momentos a mesma permaneceu inoperante. Em contrapartida, efetuou-se novamente o teste da rede PLC com o notebook e o adaptador conectado na tomada elétrica distante do emissor de ruído, onde a qualidade do sinal melhorou e conseqüentemente estabilizou a conexão entre os adaptadores PLC.

Com isso, o fator distância entre os adaptadores PLC influenciou no resultado do teste com o eletrodoméstico ruidoso. A verificação da ação da distância sobre a qualidade do sinal e taxa de transferência com a tecnologia PLC está explanado no item a seguir.

#### 7.4.2 Uso do PLC *Indoor* com aplicação da distância

Diante dos testes realizados com a tecnologia PLC observou-se que a distância entre os adaptadores PLC foi um elemento determinante para a qualidade do sinal de dados PLC, impondo limites para a tecnologia. Em razão disso, aplicou-se os testes com a ajuda de um notebook e um adaptador PLC, que possibilitou a movimentação no interior na residência percorrendo as tomadas elétricas e verificando a qualidade do sinal com o utilitário de medição. A mobilidade dos equipamentos permitiu ao autor criar ambientes de testes de maneira rápida, executando o processo de medição do sinal PLC para o estudo da influência do fator distância. Ao final de cada teste, apenas retirava-se o adaptador PLC da tomada elétrica e o fixava novamente em outra, onde a equalização do sinal é executada automaticamente permitindo realizar um novo teste.

Logo, o teste inicial foi realizado com uma distância de 2 metros entre os adaptadores PLC, com disparos de pacotes de dados com comando *ping* para o microcomputador conectado à rede PLC em estudo. Portanto, devido a curta metragem estabelecida para a realização do teste, os resultados apresentados pelo utilitário de medição da qualidade do sinal foram de uma conexão estável com taxa de transferência de 14 Mbps e a média de respostas do ping em 1 milissegundo. Entretanto, com o notebook e o adaptador PLC conectado à tomada elétrica distanciados à 20 metros entre o adaptador *Device 1* do microcomputador, notou-se com o utilitário de medição que a qualidade do sinal baixou e perdeu estabilidade na comunicação. Houve momentos em que a conexão era totalmente perdida e restabelecida segundos após, sofrendo variações nas taxas de transferência com a velocidade registrada de 2,21 Mbps a 11,81 Mbps. Porém, os adaptadores PLC possuem um sinalizador visual *Home Plug* que permanece aceso para conexão ativa e do contrário apaga, onde foi constatado no momento em que o utilitário de medição apresentava a perda do sinal

do adaptador PLC *Device 1* nenhuma perda do sinal era apresentado no visual. Portanto, havia sinal PLC na rede de energia elétrica da residência, porém sem a intensidade necessária para iniciar o tráfego dos dados. Para salientar, as taxas relatadas estão explanadas conforme a Figura 51.

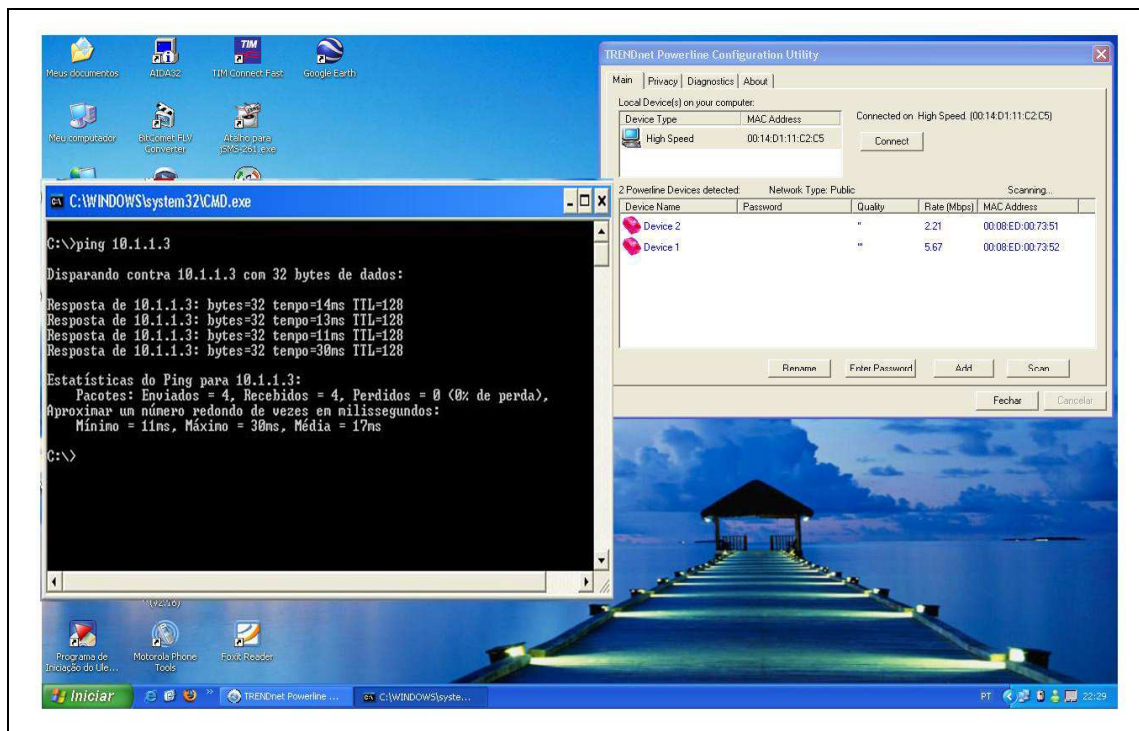


Figura 51. Resultado do teste com uma distância de 20 metros entre os adaptadores PLC

As respostas obtidas dos disparos de pacotes de dados do comando *ping* ficaram com o tempo médio de 17 milissegundos, com mínimo de 11 milissegundos e máximo de 30 milissegundos. A Tabela 6 apresenta as médias de taxas de transmissão obtidas pelo autor durante a realização dos testes com relação à distância entre os adaptadores PLC, no intervalo de 10 minutos entre um teste e outro. Os resultados dos testes estão conseqüentemente nos apêndices B, C e D deste trabalho.

Tabela 6. Médias das taxas de transferência obtidas com as distâncias

| Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) |
|--------------------|------------------------------|
| 2                  | 13,82                        |
| 7                  | 13,38                        |
| 20                 | 8,43                         |

Outra forma de aplicação dos testes com os adaptadores PLC foi o fator distância com as fontes geradoras de ruídos eletromagnéticos estudados no item 7.4.1, conforme

apresentado na Tabela 7 com as médias das taxas de transferência máximas encontradas durante a realização dos testes. O intervalo entre a realização dos testes foi a cada 10 minutos e com cinco medições para cada distância com o fator ruído gerado pelo aspirador de pó, pois este destacou-se significativamente na influência do sinal PLC. Os resultados dos testes estão conseqüentemente nos apêndices E, F e G deste trabalho.

Tabela 7. Médias das taxas de transferência obtidas com distâncias e ruídos

| Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps)    |                                      |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
|                    | Sem ruídos entre os adaptadores | Aspirador de pó entre os adaptadores |
| 2                  | 13,82                           | 12,86                                |
| 7                  | 13,38                           | 10,54                                |
| 20                 | 8,43                            | 3,01                                 |

Além disso, colocou-se em prática a comunicação de dados com a tecnologia PLC entre duas residências com a distância 20 metros entre as mesmas. Com o adaptador PLC conectado em uma tomada elétrica, o sinal PLC percorreu toda a estrutura da rede elétrica da residência passando pelos disjuntores e contador de energia elétrica injetando-se na estrutura da rede elétrica pública. Dessa forma, na outra residência plugou-se o outro adaptador PLC na tomada elétrica para verificar a existência do sinal. Assim, ao plugar o adaptador PLC observou-se que o *led* sinalizador *Home Plug* do mesmo mostrava a existência do sinal na tomada elétrica. Porém, com o notebook conectado no adaptador PLC e com o utilitário de medição ativo o mesmo não aconteceu, onde a conexão não foi estabelecida na rede PLC. Dessa forma, o sinal de dados com a tecnologia PLC passou a ser analisado com a formação de obstáculos conforme apresentado a seguir.

### 7.4.3 Uso do PLC *Indoor* com aplicação de obstáculos

Diante dos estudos realizadas na infra-estrutura da rede de energia elétrica da residência com a tecnologia PLC, cabe considerar a influência dos obstáculos na comunicação de dados via rede elétrica. Dentre esses obstáculos, o uso dos adaptadores PLC alimentados por meio de filtros de linhas restringiu totalmente os sinais de dados injetados na rede de energia elétrica da residência. Porém, somente o adaptador PLC conectado no filtro de linha não estabelecia uniformidade do sinal elétrico para a conexão com os demais dispositivos utilizando o cabeamento elétrico. Com isso, o filtro de linha criou uma barreira para a transmissão dos sinais elétricos por meio da tecnologia PLC, pois este tem a funcionalidade de filtrar interferência de rádio frequência (RFI). Os adaptadores PLC utilizados para a realização dos teste, conforme as Tabelas 3 e 4, trabalham na frequência de 4.3 à 21 MHz, onde essas frequências são retidas no filtro de linha. Portanto, com o adaptador PLC Plug Fácil Powerline Ethernet Bridge 56 Mbps conectado a uma tomada elétrica do filtro de linha, possibilitou a visualização das colisões dos sinais elétricos. Isto por que, o adaptador PLC Plug Fácil possui um *led* indicador de colisão do tráfego dos sinais, conforme apresentado na Figura 52.



Figura 52. Adaptador PLC indicando colisão no tráfego de dados

Conforme a Figura 52, o *led* “COL” de sinalização vermelha do adaptador PLC Plug Fácil indicou que havia colisões enquanto o mesmo permanecia plugado no filtro de linha. Além disso, o adaptador PLC Plug Fácil possui outros indicadores visuais como o *led* “Link/ACT” que indica uma conexão com o cabo *ethernet* entre o adaptador e o microcomputador, *led* “Link” que demonstra uma conexão entre dois ou mais adaptadores PLC conectados a tomada elétrica e o *led* “ACT” que pisca ao iniciar uma transmissão de dados na rede elétrica. Além do teste com o filtro de linha, o adaptador foi ligado a um plugue elétrico com uma entrada tipo “macho” e duas saídas do tipo “fêmeas” conectado a uma tomada elétrica. Neste caso, foi possível analisar a conexão do sinal de dados com a tecnologia PLC utilizando um microcomputador e o adaptador compartilhando a mesma tomada de energia elétrica. Dessa forma, o *led* “COL” do adaptador PLC Plug Fácil apresentou as colisões do tráfego de dados gerando perda do sinal, porém a conexão estabilizou em seguida permitindo a navegação na WWW. A Figura 53 apresenta o adaptador PLC compartilhando a mesma tomada elétrica para o microcomputador de teste.



Figura 53. Adaptador PLC e microcomputador compartilhando a mesma tomada elétrica

Com isso, o compartilhamento da mesma tomada elétrica para o adaptador com o microcomputador via plugue do tipo “T”, apresentou uma conexão instável apresentando paradas do tráfego de dados. Assim, notou-se com o utilitário de medição do sinal PLC que a

taxa de transferência quando estabelecida oscilou constantemente entre 1,86 Mbps à 10,05 Mbps. Além dos testes com o filtro de linha e o plugue tipo “T”, analisou-se a comunicação de dados com a tecnologia PLC em uma residência que possuía uma rede elétrica trifásica.

Conforme Marques (2008), uma rede elétrica trifásica utilizada em residências permite o balanceamento de carga elétrica em cada fase, onde as tomadas elétricas estão vinculadas em redes distintas e que somente o fio neutro passa entre as mesmas. Dessa forma, o estudo com os adaptadores conectados em tomadas elétricas de fases diferentes obteve-se êxito na comunicação de dados via rede de energia elétrica trifásica utilizando a tecnologia PLC *Indoor*. Porém, a razão simples para o êxito da comunicação de sinais entre os adaptadores é devido ao acoplamento entre fases, que permite interação entre sistemas diferentes. Portanto, na residência onde se realizou o teste com os adaptadores plugados nas tomadas elétricas possui um pára-raios de baixa tensão acoplando essas redes distintas, permitindo o tráfego dos sinais elétricos PLC por toda a infra-estrutura elétrica.

Da mesma forma, originou o interesse em realizar um estudo com a tecnologia PLC em uma infra-estrutura elétrica estabilizada, verificando a comunicação dos sinais de dados utilizando um estabilizador eletrônico digital. Logo, a pesquisa realizada em uma rede de energia elétrica estabilizada está explanada a seguir.

#### **7.4.4 Utilização do PLC *Indoor* em uma rede elétrica estabilizada**

A tecnologia em estudo por meio dos adaptadores foi aplicada em um laboratório de informática com a rede elétrica estabilizada, localizado no bloco XXI-C sala 11 da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), para verificar a existência dos sinais de dados entre dois microcomputadores conectados via PLC *Indoor*. Logo, o equipamento que estabiliza a rede elétrica do laboratório de informática está ilustrado conforme a Figura 54.



Figura 54. Estabilizador da rede elétrica do laboratório de informática

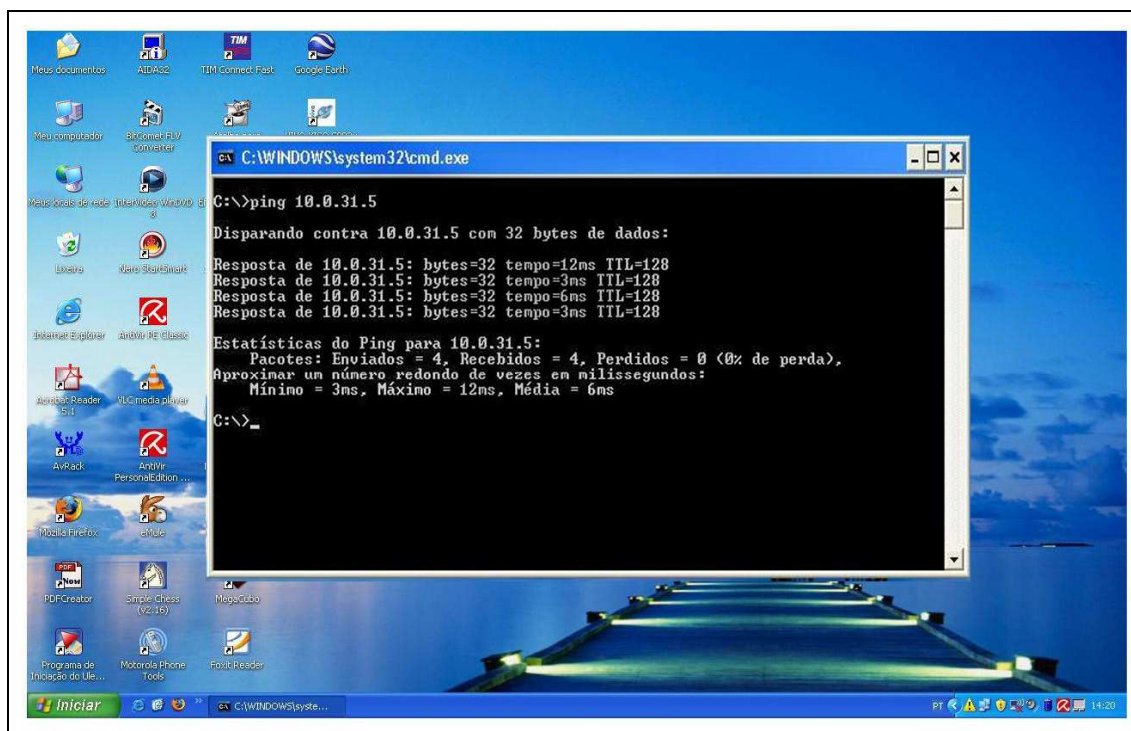
Em seguida, plugaram-se os adaptadores PLC para o estudo do sinal na rede elétrica estabilizada conforme apresentado na Figura 55.



Figura 55. Adaptadores PLC em teste com a rede elétrica estabilizada

Com o teste, ficou constatado que os sinais de dados com a tecnologia PLC trafegaram por toda a rede elétrica estabilizada. Dessa forma, o teste utilizado para verificar a

comunicação entre os microcomputadores na rede PLC ocorreu por meio do comando *ping*, que apresentou o tempo mínimo dos disparos de pacotes de dados de 3 milissegundos, máximo de 12 milissegundos e a média de 6 milissegundos. A apresentação dos resultados com o comando *ping* está conforme a Figura 56.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>ping 10.0.31.5

Disparando contra 10.0.31.5 com 32 bytes de dados:

Resposta de 10.0.31.5: bytes=32 tempo=12ms TTL=128
Resposta de 10.0.31.5: bytes=32 tempo=3ms TTL=128
Resposta de 10.0.31.5: bytes=32 tempo=6ms TTL=128
Resposta de 10.0.31.5: bytes=32 tempo=3ms TTL=128

Estatísticas do Ping para 10.0.31.5:
  Pacotes: Enviados = 4, Recebidos = 4, Perdidos = 0 (0% de perda).
  Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
  Mínimo = 3ms, Máximo = 12ms, Média = 6ms

C:\>_
```

Figura 56. Resultado do teste na rede elétrica estabilizada

Por outro lado, analisou-se o sinal elétrico com um adaptador conectado à uma tomada da rede elétrica não estabilizada ficando entre ambos o estabilizador do laboratório. Com isso, constatou-se que o estabilizador criou uma barreira para o sinal PLC impossibilitando a comunicação entre os microcomputadores de teste do laboratório. Assim, para representar o teste realizado com o estabilizador entre os adaptadores PLC, a Figura 57 ilustra a inexistência do sinal nos equipamentos em estudo.

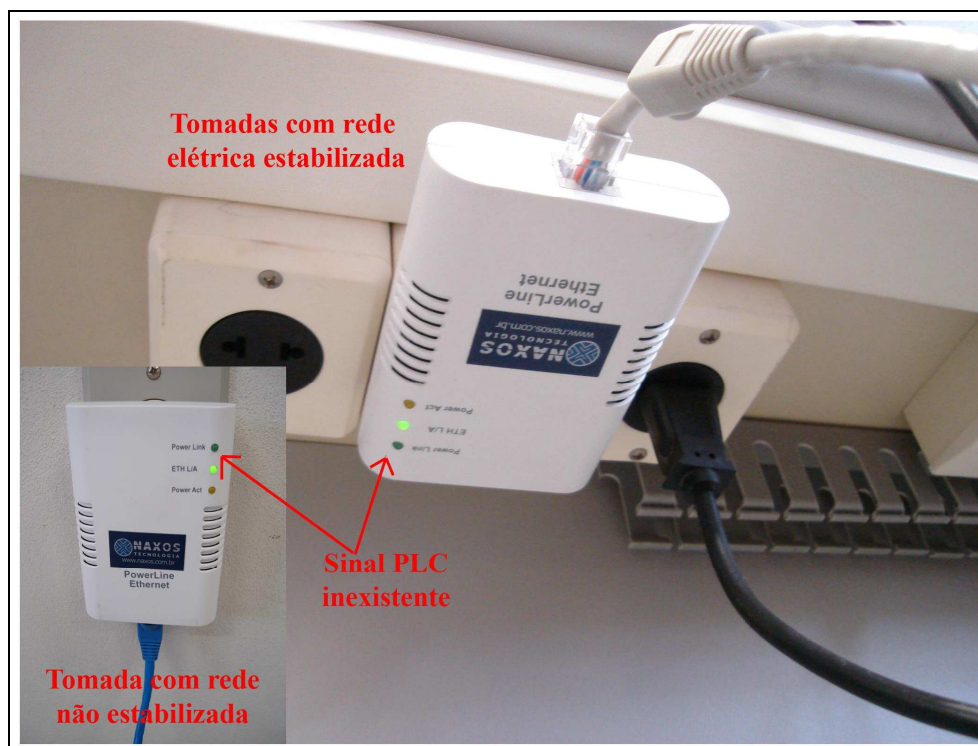


Figura 57. Adaptadores PLC em tomadas com rede elétrica divergentes

Além disso, foram realizados testes de comunicação de dados via rede elétrica com a utilização dos adaptadores PLC entre os blocos XXI-A e XXI-B com o XXI-C, onde por sua vez, ficou comprovada a inexistência do sinal PLC. Cabe ressaltar, que a inexistência do sinal PLC entre os blocos analisados da UNESCO é pelo fato não haver um acoplador na rede elétrica para conectá-los. Dessa forma, houve o interesse em realizar um estudo da comunicação de dados em uma infra-estrutura elétrica de um edifício com a tecnologia PLC *Indoor*, onde a rede elétrica está disponibilizada em todas as dependências do mesmo. Assim, o teste realizado em uma edificação predial está exposto no item a seguir.

#### 7.4.5 Comportamento do PLC *Indoor* em rede elétrica predial

Diante de uma infra-estrutura predial, foi possível um estudo da tecnologia PLC *Indoor* com os adaptadores PLC da fabricante NAXOS. Estes adaptadores foram expostos a testes de comunicação no edifício residencial Orion localizado no centro de Criciúma, onde

no mesmo acontecia um processo de reforma. Portanto, havia a existência de ruídos na rede elétrica do edifício gerados pelo maquinário do tipo motor com escova como furadeira, esmerilhadeira e lixadeira, utilizados para a reforma do edifício. A Figura 58 apresenta o edifício Orion possuindo sete pavimentações.



Figura 58. Foto externa do Edifício Orion

A realização do estudo executada no edifício iniciou com a instalação do adaptador PLC no apartamento do sexto andar, onde este foi plugado em uma tomada elétrica da sala de estudos. Cabe ressaltar, que o acesso à Internet no edifício é realizado de forma individualizada, onde cada morador que possui microcomputador tem a sua modalidade de conexão. Dessa forma, no apartamento realizado o estudo da comunicação de dados via rede elétrica possui na sala de estudos um microcomputador com o meio de acesso à Internet via ADSL da Brasil Telecom, com a taxa de transferência de 300 Kbps. Além disso, o proprietário do apartamento compartilhou a conexão do modem ADSL com o auxílio de um *hub* para eventuais utilizações em um notebook. Com isso, o cabo *ethernet* do adaptador PLC foi plugado no *hub* permitindo o compartilhamento da Internet em todas as tomadas elétricas do apartamento. Assim, a Figura 59 apresenta a estrutura física descrita anteriormente.



Figura 59. Estrutura física do compartilhamento da Internet no apartamento

Com a estrutura PLC *Indoor* montada, foi possível efetuar conexões estáveis à Internet em várias dependências do apartamento. Além disso, com um adaptador PLC plugado na tomada elétrica da sala de estudos do apartamento o segundo adaptador foi instalado no hall de entrada do edifício para verificar a existência do sinal PLC no local. Logo, ao conectar o cabo *ethernet* no notebook do autor a conexão da rede PLC com o adaptador iniciou a transmissão de dados pela rede elétrica do edifício em teste. A Figura 60 ilustra a conexão utilizando o adaptador PLC.



Figura 60. Conexão com o adaptador PLC no hall do edifício Orion

Assim, toda a infra-estrutura elétrica do edifício residência Orion tornou-se uma rede LAN com a tecnologia PLC, permitindo a navegação na WWW. Porém, o compartilhamento do sinal PLC em todas as tomadas elétricas do edifício permitiria que outros usuários possuindo um adaptador PLC navegassem na WWW com extrema facilidade, uma vez que o modem ADSL do apartamento em teste alocaria automaticamente os endereços IP a todos os microcomputadores. Diante desse fato, evidenciou-se que a segurança dos dados no edifício estaria exposta para qualquer pessoa mal intencionada provocando invasões em sistemas dos microcomputadores dos demais moradores.

#### **7.4.6 Segurança na rede PLC Indoor**

A transmissão de dados independentemente da tecnologia empregada para conectar-se à Internet proporcionou uma grande preocupação na segurança da informação por

todos os usuários que a utilizam. A tecnologia PLC *Indoor* mesmo compartilhada entre as tomadas elétricas proporcionou a segurança dos dados pelo fato de restringir o sinal somente para a rede elétrica da residência diferentemente, por exemplo, da tecnologia *wireless* onde o sinal pode ser detectado além dos limites físicos da casa por algum outro usuário mal intencionado. Entretanto, no edifício Orion, foi possível compartilhar a Internet na infraestrutura da rede de energia elétrica devido à capilaridade que a mesma proporcionou, conforme examinado a tecnologia PLC *Indoor* por meio dos adaptadores no item 7.4.5. Com isso, a tecnologia PLC mostrou-se, nesse caso, vulnerável uma vez que a rede formada para o estudo não possuía um controle de acesso, colocando em risco a confidencialidade da informação.

A tecnologia PLC estudada por meio dos adaptadores adquiridos possui o algoritmo de criptografia DES<sup>20</sup> 56 bits como segurança das informações transmitidas. Porém, conforme ressalta Andrade (2003), além da criptografia DES existe a possibilidade em projetar outros sistemas de segurança como, por exemplo, a detecção de intrusão que permite administrar os acessos a rede.

---

<sup>20</sup> Abreviatura de Data Encryption Standard, criado pela IBM e corresponde a 72 quadrilhões de combinações

## CONCLUSÃO

Uma enorme variedade de serviços para diversas finalidades por meio da Internet tornaram-se possíveis, conseqüentemente, com o surgimento de novas tecnologias de acessos para suprir a demanda de informação. Com isso, possibilitou às empresas que fornecem serviços de Internet a oferecerem meios de acessos com taxas de transmissão cada vez maiores e com qualidade, independentemente da conexão utilizada, seja ela com ou sem fio, aos usuários.

Porém, o meio utilizado para difundir o acesso à Internet pode ser uma questão crucial para a disponibilidade dos serviços como, por exemplo, a banda larga, vídeo sob demanda, voz sobre IP entre outros. Dependendo da localização em que o usuário encontra-se ou infra-estrutura do lugar, pode tornar impossível a disponibilidade desses serviços, uma vez que a tecnologia necessária para tal finalidade não possa ser implantada por alguma razão.

Como alternativa para preencher essa lacuna tem-se a tecnologia PLC. Essa tecnologia consiste em utilizar a infra-estrutura da rede de energia elétrica, seja pública ou em uma residência, para efetuar a transmissão de dados em alta velocidade. Apresentando-se como uma alternativa atraente para disponibilizar acessos, falta à tecnologia PLC adquirir a regulamentação para sua utilização em massa no Brasil. Apesar do PLC sofrer duras críticas por utilizar frequências já determinadas para outras tecnologias, vários estudos estão sendo feitos para dar um rumo e disponibilizar em tão breve aos usuários como já é feito em outros lugares como Europa, Leste Europeu, Ásia e América Latina.

Assim, no trabalho desenvolvido utilizou-se a infra-estrutura elétrica de uma residência para a realização de testes da tecnologia PLC *Indoor*. Na modalidade *Indoor* da tecnologia com a utilização de adaptadores PLC, adquiridos pelo autor, foi constatado que em todas as tomadas elétricas da residência a qualidade do sinal sofria pequenas variações onde

conseqüentemente as taxas de transferência alteravam-se. Entretanto, aplicando fatores como ruídos na rede elétrica da residência gerados por um chuveiro elétrico, secadora de roupas, forno de microondas e aspirador de pó, e distâncias entre os adaptadores foi possível observar a influência desses na qualidade do sinal PLC. Porém, o resultado foi negativo quando aplicou o ruído provocado pelo aspirador de pó próximo a um dos adaptadores PLC conectado à tomada elétrica. Nesse teste a qualidade do sinal diminuiu drasticamente tornando impossível a navegação na WWW. Entretanto, com os adaptadores distanciados do emissor de ruído, a qualidade do sinal restabeleceu permitindo a transferência de dados entre os adaptadores PLC.

Os sinais dos adaptadores PLC foram analisados em um laboratório de informática da UNESCO do bloco XXI-C na sala 11, onde ficou constatado que houve a comunicação de dados utilizando a rede de energia elétrica estabilizada. Por outro lado, não foi possível transferir dados em redes elétricas distintas do laboratório de informática, pois o estabilizador tornou-se uma barreira para a comunicação entre os adaptadores PLC. Do mesmo modo, não houve comunicação de dados com um dos adaptadores PLC plugado ao filtro de linha.

Em contrapartida, a utilização da tecnologia em estudo na estrutura elétrica de um edifício residencial apresentou como uma sólida solução para o compartilhamento da Internet. O sinal PLC foi injetado na tomada elétrica de um apartamento no sexto andar e analisado no hall de entrada do edifício, onde foi possível navegar na WWW. Com isso, ficou claro que em todas às tomadas elétricas dos pavimentos havia o sinal PLC. Entretanto, essa autonomia possibilitada pela tecnologia PLC no edifício permitindo um ponto de acesso em qualquer tomada elétrica, fragiliza a segurança da informação dos usuários caso implementada sem um controle de acesso.

A utilização da tecnologia PLC na prática apresentou seus pontos positivos. No decorrer do desenvolvimento do trabalho pode-se observar a praticidade e a mobilidade que

esta tecnologia apresentou em um ambiente de rede. Além disso, as altas taxas de transmissão alcançadas foi algo positivo, pois as redes elétricas utilizadas não receberam nenhum melhoramento para o aumento da qualidade do sinal da tecnologia PLC. Em sentido contrário, o PLC perde admiração quanto ao custo para a sua aplicação em uma residência. Ainda é uma tecnologia com um custo relativamente alto e de difícil acesso, pois os equipamentos não são facilmente encontrados no comércio.

Embora encontradas essas dificuldades, não tornam a tecnologia em estudo inviável. Isto porque, o estudo de caso realizado mostrou que é viável a aplicabilidade da tecnologia PLC, pois a capilaridade da rede elétrica da residência possibilitou o compartilhamento, com o PLC *Indoor*, da Internet em todas às tomadas elétricas permitindo a mobilidade do meio de acesso. Aliado a esse fato, ela surgiu como uma alternativa para a propagação do acesso à Internet banda larga aproveitando uma infra-estrutura elétrica já disponibilizada. A comparação realizada com as demais tecnologias não permite distinguir qual a melhor tecnologia para a inclusão digital.

Dessa forma, o trabalho apresentado vem a contribuir de forma significativa para futuros estudos e implantações, relacionados à viabilidade em aplicar a tecnologia em uma rede elétrica de baixa tensão. Os trabalhos futuros sugeridos pelo autor com implantação da tecnologia PLC são:

- a) avaliar uma aplicação específica, como servidores de FTP, Web entre outros, com a tecnologia PLC;
- b) ampliar os estudos na segurança da informação do PLC;
- c) desenvolver na prática um estudo mais específico da tecnologia em um edifício;
- d) realizar estudos detalhados com a tecnologia PLC *Outdoor*.

## REFERÊNCIAS

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações. **Consultar produtos homologados.** Disponível em: < <http://sistemas.anatel.gov.br/sgch/Consulta/Homologacao/tela.asp>>. Acesso em: 18 abr. 2008.

ANDRADE, Reginaldo Pereira de; SOUZA, Renato Kronit de. **Uma visão geral sobre a tecnologia PLC.** 2004. 60 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004. Disponível em: <[http://www.eee.ufg.br/cepf/pff/2003/pf2003\\_11.pdf](http://www.eee.ufg.br/cepf/pff/2003/pf2003_11.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2007.

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 2 ed. Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas\\_2edicao/download.htm](http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/download.htm)>. Acesso em: 05 set. 2007.

APTEL Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações. **Grupo de trabalho powerline GT powerline.** Power Line Communication-plc ou Broadband Over Power Lines-BPL. 2003. Disponível em: <[afrr.qsl.br/plc-anatel.pdf](http://afrr.qsl.br/plc-anatel.pdf)>. Acesso em 28 set. 2007.

BERNAL FILHO, Huber. Meios de Acesso a Internet. **Teleco**, São José dos Campos, SP, 2007. Sessão Tutoriais Banda larga e VOIP. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmeiosip/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

BOSSI, Antonio; SESTO, Enzo. **Instalações Elétricas.** Curitiba: Hemus, v.1, 2002.

BRANDÃO, Diogo de Paiva Leite. **Electrotecnica geral.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian 1987.

BUDRI, Amaury; BONILHA, Caio. Wireless Lan (WLAN). **Teleco**, São José dos Campos, SP, 2003. Sessão Tutoriais Redes de Dados Wireless. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlan/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais.** 13 ed. rev., atual. e ampl. conforme norma NBR 5410:2004. São Paulo: Érica, 2005.

CBEE Centro Brasileiro de Energia Eólica. Energia eólica: Panorama da energia eólica. Disponível em <[http://www.eolica.org.br/index\\_por.html](http://www.eolica.org.br/index_por.html)>. 2003. Acesso em: 09 set. 2007.

CELESC Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. Sistema CELESC: Subestações (SE's), 2006. Disponível em: < <http://www.celesc.com.br/sistemacelesc/se.php>>. Acesso em: 15 set. 2007.

COMER, Douglas E. **Rede de Computadores e Internet**: Abrange transmissão de dados, ligação inter-redes e web. 2 ed. Tradução Marinho Barcellos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

CORRÊA, Josias Rodrigues. **PLC - Power Line Communications**. 2004. 65 f. Dissertação (Bacharel) - Curso de Sistemas de Informação, União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, 2004. Disponível em: <<http://si.uniminas.br/TFC/monografias/TCC%20Josias%20Rodrigues%20Correa-Agosto%202004.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2007.

CURRENT Communication. Company Profile. 2004. Disponível em: <<http://www.current.net/OurCompany/CompanyProfile/>>. Acesso em: 16 out. 2007.

DEMÉTRIO, Rinaldo. **Internet**. São Paulo: Érica, 2001.

ELETRONUCLEAR Eletrobrás Termonuclear. Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/tecnologia/index.php?idSecao=2>>. Acesso em: 09 set. 2007.

\_\_\_\_\_. Energia nuclear: Tecnologia. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/tecnologia/index.php?idSecao=2&idCategoria=19>>. Acesso em: 09 set. 2007.

HRASNICA, Halid; HAIDINE, Abdelfatteh; LEHNERT, Ralf. **Broadband Powerline Communications Networks Network Design**. England: John Wiley & Sons. 2004.

HELD, Gilbert. **Understanding broadband over power line**. New York: Taylor & Francis Group. 2006.

HUGUENEY, Carlindo. Comunicação Via Satélite. **Teleco**, São José dos Campos, SP, 2003. Sessão Tutoriais Transmissão. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

JATOBÁ, Pedro L. de O.. **O Uso da Tecnologia PLC no Contexto da Realidade Brasileira**. In: WORKSHOP SOBRE PLC NA ANATEL. 2007. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/1%20-%20APTEL%20-%20PEDRO%20JATOBÁ%20\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/1%20-%20APTEL%20-%20PEDRO%20JATOBÁ%20(2).pdf)>. Acesso em: 15 out. 2007.

KUROSE, James F; ROSS, Keith W.. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**; Tradução Arlete Simille Marques. 3 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006.

LIMA JÚNIOR, Almir Wirth. **Tecnologias de rede & comunicação de dados**. Rio de Janeiro: Altas books, 2002.

LIMA, Carlos Alberto Froés et al. A tecnologia PLC: Oportunidade para os setores de Telecomunicações e Energia Elétrica. **Teleco**, São José dos Campos, SP, mar. 2006. Sessão Tutoriais Banda larga e VOIP. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialkbns/Default.asp>>. Acesso em: 08 out. 2007.

MARQUES, Gabriel Alan Gehm. **Transmissão de dados via rede elétrica**. 2004. 98 f. Monografia (Bacharel) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <[http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/gabriel\\_marques/dados\\_via\\_rede\\_01.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/gabriel_marques/dados_via_rede_01.html)>. Acesso em: 30 abr. 2008.

MARTINAZZO, Ivan Cezar. Ethernet Óptica. **Teleco**, São José dos Campos, SP, 2003. Sessão Tutoriais Redes Ópticas. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialoe/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

MARTINS, Marco Aurélio. Infra-estrutura para Redes Ópticas. **Telecon**, São José dos Campos, SP, 2003. Sessão Tutoriais Infra-estrutura para Telecomunicações. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialoptica/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

MCCABE, Karen. IEEE Starts Standard to Support Broadband Communications Over Local Power Lines. **IEEE**, Piscataway, EUA, jul. 2004. Sessão News & Information. Disponível em: <[http://standards.ieee.org/announcements/pr\\_p1675.html](http://standards.ieee.org/announcements/pr_p1675.html)>. Acesso em: 23 out. 2007.

MORAES, Daniel Calixtro Fagonde. **A viabilidade da transmissão de dados em redes de energia elétrica de baixa tensão**. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/4042.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2007.

MOTOYAMA, Shusaburo. Comutação por pacote: In: \_\_\_\_\_. **Introdução às Redes de Computadores**. Campinas, SP: Universidade de Campinas (UNICAMP), 2004. cap. 6. Disponível em: <[www.dt.fee.unicamp.br/~motoyama/ee981/apostilas/Capitulo6.pdf](http://www.dt.fee.unicamp.br/~motoyama/ee981/apostilas/Capitulo6.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2007.

NAXOS tecnologia. Adaptador PowerNet 85Mbps: manual do usuário. São Paulo, 200?. 14p. Disponível em: <<http://naxos.com.br/manuais/Manual%20PowerNet%2085.zip>>. Acesso em: 14 out. 2007.

\_\_\_\_\_. Arquitetura & Construção Março/2007. 2007. São Paulo. Disponível em: <<http://www.naxos.com.br/noticias.asp>>. Acesso em: 20 out. 2007.

PETRACIOLI, Fernando. Conheça os diferentes tipos de conexão à Internet. **PC WORLD**, São Paulo, jan. 2008, Sessão Reportagens. Disponível em: <<http://pcworld.uol.com.br/reportagens/2008/01/18/conheca-os-diferentes-tipos-de-conexao-a-internet/>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

PLUG Fácil. Guia de referência rápido. 2007. 8 p.

SOARES, Luiz Fernando Gomes; LEMOS, Guido; COLCHER, Sergio. **Redes de Computadores**: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

SAY, Maurice George. **Eletricidade Geral**: eletrotécnica; tradução Manoel Simões de Almeida, Luiza Delgado Mendonça, M. Teresa de Almeida. London: Hemus, 2004.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4 ed. Tradução, Vanderberg D. de Souza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

\_\_\_\_\_. **Redes de Computadores**. 4 ed. Tradução Insight serviços de informática. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles. PLC: powerline communications. **Teleco**, São José dos Campos, SP, abr. 2005. Sessão Tutoriais Banda larga e VOIP. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/default.asp>>. Acesso em: 14 out. 2007.

TORRES, Gabriel. **Redes de computadores**: curso completo. Rio de Janeiro. Axcel, 2001.

TRENDNET a tendência em redes: Bridge Fast Ethernet Powerline 85 Mbps. Disponível em: <<http://www.trendware.com.br/products/TPL-202E.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2008.

TUDE, Eduardo; SOUZA, José Luis de; BERNAL FILHO, Huber. Acesso à Internet. **Teleco**, São José dos Campos, SP, 2007. Sessão Tutoriais Banda larga e VOIP. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialaint/Default.asp>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

VARGAS, Alessandra Antunes. **Estudo sobre comunicação de dados via rede elétrica para aplicações de automação residencial/predial**. 2004. 65 f. Dissertação (Bacharel) - Curso de Engenheiro de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em:  
<[www.ece.ufrgs.br/~fetter/plt/TrabalhoConclusaoAlessandra.pdf](http://www.ece.ufrgs.br/~fetter/plt/TrabalhoConclusaoAlessandra.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2007.

ZACKER, Craig; DOYLE, Paul. **Redes de computadores: configuração, manutenção e expansão**; Tradução Ariovaldo Griesi, Carlos Mello, José Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo: Makron Books, 2000.

ZIMMERMANN, Marília Munhoz da Rocha. **Avaliação tecnológica do “PLC IN HOME”**. 2004. 87 f. Dissertação (Bacharel) - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004. Disponível em:  
<[www.inf.furb.br/~pericas/orientacoes/PLC2004.pdf](http://www.inf.furb.br/~pericas/orientacoes/PLC2004.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2007.

## APÊNDICE A – TABELA COMPARATIVA DE CUSTOS *INDOOR*

Comparação de custo entre as tecnologias que podem ser aplicadas em uma residência.

| <b>Tecnologia</b>       | <b>Equipamento/<br/>Material</b> | <b>Taxa de<br/>transferência</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Valor</b> | <b>Valor Final</b> |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|
| PLC                     | Adaptador PLC                    | 56 Mbps                          | 02                | R\$ 362,12   | R\$ 362,12         |
| <i>Wireless</i>         | Roteador <i>Wireless</i>         | 54 Mbps                          | 01                | R\$ 199,00   | R\$ 538,80         |
|                         | Placa PCI <i>Wireless</i>        | 54 Mbps                          | 02                | R\$ 339,80   |                    |
| Rede<br><i>Ethernet</i> | Cabo par trançado                | 100 Mbps                         | 218 metros        | R\$ 261,60   | R\$ 653,40         |
|                         | Plugue macho RJ 45               |                                  | 44                | R\$ 41,80    |                    |
|                         | Switch 24 portas                 | 100 Mbps                         | 01                | R\$ 350,00   |                    |

**APÊNDICE B – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 2 METROS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 2 metros entre os adaptadores PLC

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 2                  | 14                           | 1                           |
| 2     | 2                  | 13,10                        | 2                           |
| 3     | 2                  | 14                           | 2                           |
| 4     | 2                  | 14                           | 2                           |
| 5     | 2                  | 14                           | 2                           |
|       | Média              | 13,82                        | 1,8                         |

**APÊNDICE C – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 7 METROS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 7 metros entre os adaptadores PLC

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 7                  | 12,47                        | 2                           |
| 2     | 7                  | 14                           | 1                           |
| 3     | 7                  | 13,37                        | 1                           |
| 4     | 7                  | 13,10                        | 2                           |
| 5     | 7                  | 14                           | 1                           |
| Média |                    | 13,38                        | 1,4                         |

**APÊNDICE D – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 20 METROS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 20 metros entre os adaptadores PLC

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 20                 | 4,95                         | 13                          |
| 2     | 20                 | 11,39                        | 11                          |
| 3     | 20                 | 11,81                        | 8                           |
| 4     | 20                 | 11,81                        | 3                           |
| 5     | 20                 | 2,21                         | 7                           |
|       | Média              | 8,43                         | 8,4                         |

**APÊNDICE E – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 2 METROS COM  
RUÍDOS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 2 metros entre os adaptadores PLC e ruídos

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 2                  | 14                           | 1                           |
| 2     | 2                  | 12,71                        | 2                           |
| 3     | 2                  | 12,71                        | 2                           |
| 4     | 2                  | 14                           | 2                           |
| 5     | 2                  | 10,91                        | 2                           |
|       | Média              | 12,86                        | 1,8                         |

**APÊNDICE F – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 7 METROS COM  
RUÍDOS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 7 metros entre os adaptadores PLC com ruídos

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 7                  | 7,80                         | 2                           |
| 2     | 7                  | 12,71                        | 2                           |
| 3     | 7                  | 9,12                         | 2                           |
| 4     | 7                  | 10,01                        | 2                           |
| 5     | 7                  | 13,10                        | 2                           |
|       | Média              | 10,54                        | 2                           |

**APÊNDICE G – TABELA DE CASO DE USO DISTÂNCIA 20 METROS COM  
RUÍDOS**

Tabela de teste de caso de uso com a distância de 20 metros entre os adaptadores PLC com ruídos

| Teste | Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) | Tempo médio (milissegundos) |
|-------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 20                 | 4,40                         | 21                          |
| 2     | 20                 | 3,17                         | 24                          |
| 3     | 20                 | 5,67                         | 20                          |
| 4     | 20                 | 0,90                         | 30                          |
| 5     | 20                 | 0,90                         | 29                          |
|       | Média              | 3,01                         | 24,8                        |

## APÊNDICE H – ARTIGO SOBRE O TRABALHO

### Estudo de Caso da Tecnologia PLC em um Ambiente Residencial

Rafael Liecheski da Silva<sup>1</sup>, Arildo Sônego<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)  
Criciúma – SC – Brazil

rafael.liecheski@gmail.com, arildo@unesc.net

**Abstract.** *The purpose of the article is to present an case study to a network of low-voltage electrical energy for reporting in broad band with technology PLC (PowerLine Communication). As this technology as an alternative to lead the signs of data using an electric infrastructure, it was applied in a network of residential electricity. With this, were purchased equipment Indoor PLC for the realization in practice of examining the communication of data into a residence. Thus, the end of the studies concluded that the technology presents itself as a viable solution to the spread of Internet access broadband.*

**Resumo.** *O objetivo do artigo é apresentar um estudo de caso em uma rede de energia elétrica de baixa tensão para a comunicação de dados em banda larga com a tecnologia PLC (PowerLine Communication). Sendo esta tecnologia como uma alternativa para conduzir os sinais de dados utilizando uma infraestrutura elétrica, a mesma foi aplicada em uma rede de energia elétrica residencial. Com isso, foram adquiridos equipamentos PLC Indoor para a realização na prática da análise da comunicação de dados em uma residência. Dessa forma, ao final dos estudos concluiu-se que a tecnologia apresenta-se como uma solução viável para a propagação do acesso à Internet banda larga.*

#### 1. Introdução

O *PowerLine Communication* (PLC) é uma tecnologia que utiliza a rede de energia elétrica com o propósito de realizar a comunicação de dados. Desta maneira, as redes de distribuição elétrica são utilizadas como meio de transmissão para a transferência de informações entre os componentes da rede de computadores (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

Com isso, pode-se aplicá-lo em infra-estruturas de energia elétrica de edifícios ou residências permitindo o tráfego de dados em uma rede local construída com o PLC.

O foco desta nova tecnologia é o acesso à Internet em banda larga disponibilizando ao usuário conexões que podem chegar a 200 Mbps com equipamentos de terceira geração do PLC, possibilitando os seguintes serviços: acesso em banda larga à Internet, vídeo sob demanda, telefonia IP, serviços de vigilância, serviços de monitoramento de trânsito, automação residencial, entre outros (CORRÊA, 2004).

Sendo assim, o presente trabalho verificou a possibilidade de aplicação da tecnologia PLC na comunicação de dados em banda larga, comparando-a às tecnologias atualmente em uso no mercado regional, verificando custos financeiros, necessidades técnicas e estruturais para sua implantação em uma casa.

## 2. Redes de Computadores

Uma rede de computadores é formada por um conjunto de dispositivos que sejam capazes de realizar troca de informações e compartilhar recursos onde exista algum tipo de comunicação (SOARES; LEMOS; COLCHER, 1995). Com isso, com o encontro das tecnologias de comunicação e processamento possibilitou a troca de informações entre computadores localizados em extremos geográficos, aumentando o poder dos sistemas computacionais (LIMA JUNIOR, 2002).

### 2.1 Protocolo de Comunicação

Para que ocorra o controle na comunicação entre dois computadores, por exemplo, é necessário que se cumpra um conjunto de regras e especificações. Para isso, foi denominado o protocolo de comunicação para tornar coerente a comunicação entre os computadores de uma rede. Assim, caso alguma regra do protocolo não seja cumprida, a comunicação não será reconhecida pelo outro computador (ZACKER; DOYLE, 2000).

### 2.1 Arquitetura TCP/IP

O protocolo TCP/IP permite efetuar a comunicação entre computadores conectados em rede, obtendo um serviço confiável de transmissão de dados até o destino correto (LIMA JUNIOR, 2002).

Logo, o protocolo TCP/IP é largamente utilizado em redes de computadores pela viabilidade dos caminhos de redes de comunicação que ele pode tomar para conduzir os dados ao destino final. Além disso, o TCP/IP é um protocolo que possibilita a comunicação entre computadores de arquiteturas diferentes sem dificuldades (TORRES, 2001).

## 3. A Tecnologia PLC

A transmissão de dados sobre a rede de distribuição de energia elétrica está baseada no conceito das companhias telefônicas, que utilizam a sua infra-estrutura para transportar dados sobre a mesma até ao consumidor final (HELD, 2006). Os primeiros testes utilizando a rede de energia elétrica para comunicação em alta velocidade ocorreram na Inglaterra em 1991 pela empresa de energia elétrica Norweb. Porém, a constatação da viabilidade da comunicação de dados de alta velocidade e a correção dos problemas de ruídos e interferências ocorreu entre 1995 e 1997 recebendo a denominação de *Digital Powerline* (DPL).

Assim, o PLC foi aperfeiçoado em virtude dos avanços das técnicas de modulação, que resume-se em adequar o sinal a ser transmitido por intermédio de um determinado meio físico (VARGAS, 2004).

### 3.1. Modulação de Sinais

A modulação ocorre no transmissor que dependendo da mensagem a ser enviada, modificará algum parâmetro da onda portadora possibilitando o envio da mesma pelo canal de transmissão. Por outro lado, o sinal enviado pelo canal é recebido pelo receptor recriando a mensagem original ocorrendo a demodulação. Porém, a recriação correta da mensagem original é prejudicada pela presença de ruídos e distorções no recebimento do sinal (VARGAS, 2004).

As técnicas de modulação que se destacam por mostrarem bons resultados de desempenho e por serem reconhecidos por outros sistemas de comunicação são o *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) e o *Spread-Spectrum* (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

### 3.1.1. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

A técnica OFDM é o processo de modulação de um complexo de portadoras de banda estreita e distribuídas lado a lado (APTEL, 2003). Consiste na diminuição da interferência provocada pela proximidade dos canais de frequência e com fundamentação na propriedade da ortogonalidade entre sinais (VARGAS, 2004). Logo, são utilizadas uma grande quantidade de canais, isto porque, um canal é dividido em vários outros canais de banda estreita e frequências diferentes o qual proporciona a ortogonalidade, conforme a Figura 1. A base da técnica OFDM surgiu de outra técnica convencional conhecida por *frequency division multiplexing* (FDM).

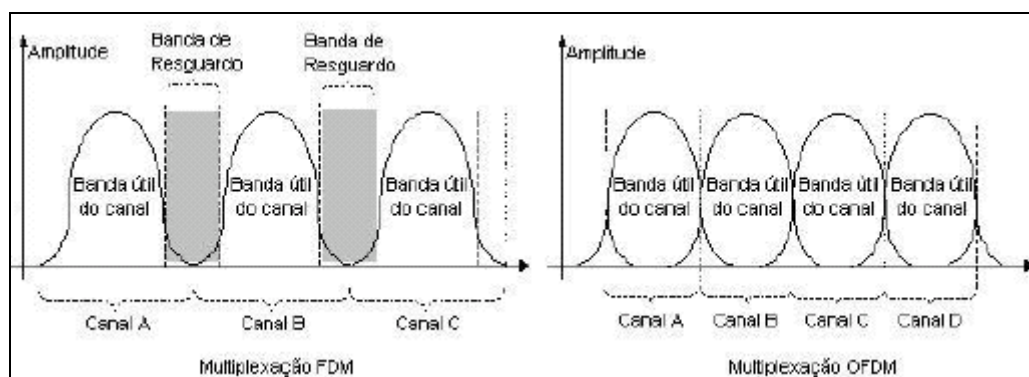


Figura 1. Divisão dos canais conforme FDM e OFDM

Por conseguinte, na técnica FDM cada sinal ocorre dentro de uma única faixa de frequência ou banda. Assim, a diferença entre as técnicas FDM e OFDM está na forma como o sinal é modulado e demodulado (HELD, 2006).

### 3.1.2. Spread-Spectrum

Esta técnica de modulação consiste no espalhamento do espectro de frequência dos dados a serem transmitidos utilizando toda a largura de banda disponível, excedendo a banda mínima que seria necessária para transmitir a mensagem (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Dessa forma, a eficiência e potência da banda ficam prejudicadas para garantir a segurança nas transmissões realizadas em lugares adversos. Isto porque, a técnica *Spread-Spectrum* produz o sinal similar a um ruído tornando imperceptível a transmissão do mesmo pelo canal a quem possa estar monitorando a comunicação (VARGAS, 2004).

## 4. Sistemas de Acesso PLC

A utilização da rede de energia elétrica para a transmissão de dados está compreendida em dois sistemas qualificados como sistema *Indoor* e *Outdoor*. Conforme Corrêa (2004), o sistema *Outdoor* de maneira geral consiste em intermediar entre o Backbone Internet e a infra-estrutura da rede elétrica de alta e média tensão. O sistema *Indoor* utiliza a infra-estrutura da rede elétrica existente de uma residência para efetuar a comunicação (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

### 4.1. Sistema PLC Outdoor

Este sistema consiste em utilizar a infra-estrutura da rede de energia elétrica pública para efetuar as conexões com o Backbone Internet por meio de uma estação base (*master/gateway*) fixada no poste juntamente com o transformador, formando uma rede WAN na área de abrangência do transformador. Desse modo, os equipamentos necessários para a realização da

comunicação sobre a rede elétrica pelo sistema *Outdoor* são basicamente (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004):

- a) o repetidor, que tem como função recuperar e re-injetar o sinal na infraestrutura da rede de energia elétrica pública procedente do equipamento do transformador;
- b) a estação base (*master/gateway*), fixado junto ao transformador com a finalidade de preparar o sinal para o uso no sistema *Indoor*;
- c) unidade concentradora (*High End*), é um equipamento instalado nas subestações da rede de energia elétrica permitindo a interconexão com os provedores de Internet, conseqüentemente injetando o sinal na infra-estrutura da rede de energia elétrica pública.

## 4.2. Sistema PLC *Indoor*

O sistema *Indoor*, conhecido também por *In-home* PLC, utiliza a infra-estrutura da rede de energia elétrica de uma residência como meio de transmissão. Conseqüentemente, este sistema interliga dois ou mais computadores ou então a outros dispositivos formando uma LAN. Basicamente, a estrutura do sistema *Indoor* não é muito diferente do sistema *Outdoor*, isto porque, pode haver a necessidade de uma estação base para o controle da conexão com a área de sistema *Outdoor* (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004). Dessa forma, todas as tomadas elétricas existentes na residência tornam-se um ponto de conexão. Logo, para estabelecer uma conexão no sistema *Indoor* utiliza-se o modem PLC (CPE), que é o equipamento que adquire o sinal de dados diretamente da rede elétrica de uma tomada simples.

### 4.2.1. Custo de um Sistema PLC *Indoor*

A criação de uma rede local sem precisar investir em infra-estrutura específica, tornou-se real com a utilização da tecnologia PLC. Logo, a existência dos equipamentos PLC permite construir uma rede LAN em poucos minutos, ligando-os diretamente à tomadas elétricas e configurando-os para tal finalidade. Para isso, são necessários dois equipamentos conhecidos por adaptadores ou modem PLC, para conectar dois computadores. O custo para a aplicação desta tecnologia é de R\$ 362,12, valor esse referente a uma embalagem que contém dois adaptadores PLC de 56 Mbps.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as tecnologias que podem ser aplicadas para criar um ambiente de rede LAN.

**Tabela 1. Comparativo de tecnologias para uma LAN residencial**

| Meio de acesso            | Taxa de Transmissão | Custo      |
|---------------------------|---------------------|------------|
| WI-FI (Wireless)          | 54 Mbps             | R\$ 538,80 |
| PLC <i>Indoor</i>         | 56 Mbps             | R\$ 362,12 |
| Rede de cabo par trançado | 100 Mbps            | R\$ 653,40 |

Ainda, cada tomada elétrica da residência é um ponto de conexão, onde comparativo demonstrado na Tabela 1 tem como objetivo apresentar o valor total para habilitar o mesmo número de conexões possíveis, sendo 22 tomadas elétrica, com a tecnologia PLC *Indoor*. Entretanto, com uma rede Wireless a cobertura do sinal é por toda a residência. Porém, o valor apresentado na tabela de comparativo das tecnologias LAN foi para habilitar o mesmo

número de pontos de acesso utilizando uma rede de cabo par trançado no interior da residência.

## 5. Caso de Uso da Tecnologia PLC

O estudo da tecnologia do PLC na comunicação de dados utilizou a rede de energia elétrica de baixa tensão. Baseado nisto, criou-se uma rede LAN, com a tecnologia PLC *Indoor*, para realizar testes em uma residência com equipamentos. Além disso, foi realizado um estudo de como a distância e o ruído, gerado na rede elétrica, podem interferir no desempenho da comunicação de sinais de dados.

### 5.1. Local Utilizado no Estudo do PLC

Na realização do trabalho visando a criação de um ambiente tecnológico PLC *Indoor* foram utilizadas as instalações elétricas de uma residência para avaliar a aplicabilidade da tecnologia. Logo, a residência escolhida possui em suas instalações outras tecnologias como meios de acessos à Internet que proporcionam um ambiente ideal necessário para a realização dos testes sobre o PLC *Indoor*, eliminando as limitações de acesso físico ao ambiente de estudo, pois a mesma é de propriedade do autor.

Logo, as instalações elétricas da residência, que recebe uma voltagem de 220 volts, em tempo algum passaram por restauração geral, apenas manutenções preventivas e corretivas foram efetuadas durante os anos consecutivos para preservar a sua funcionalidade. Além disso, na residência estão instalados quatro microcomputadores distribuídos em três cômodos da mesma. O fornecimento de Internet na residência é feito pelo meio de acesso via ADSL, onde este é distribuído para os microcomputadores da residência utilizando os seguintes equipamentos:

- a) hub de oito portas 10/100 Mbps;
- b) modem ADSL Ethernet.

Assim, o modem recebe o sinal de acesso ADSL da operadora de telefonia fixa contratada onde o mesmo está configurado para efetuar a autenticação do usuário na Internet segundos após o seu carregamento elétrico. A Figura 2 ilustra a distribuição do sinal ADSL.

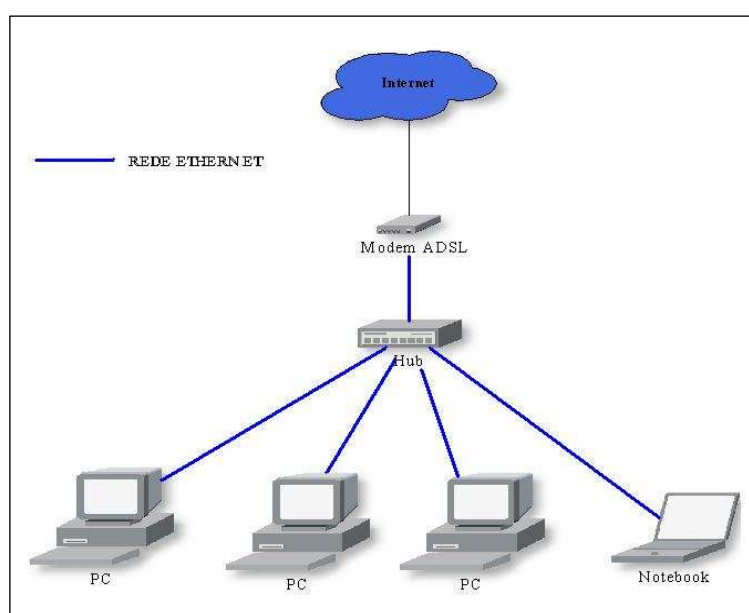


Figura 2. Modo de compartilhamento de Internet na residência

## 5.2. Implantação da Tecnologia PLC na Residência

A aplicabilidade da tecnologia PLC na residência com os adaptadores PLC em conjunto com o meio de acesso ADSL criou um ambiente de rede amplo para a realização de testes. Dessa forma, para a realização de testes foi montada uma estrutura PLC *Indoor* conforme a Figura 3 a seguir.

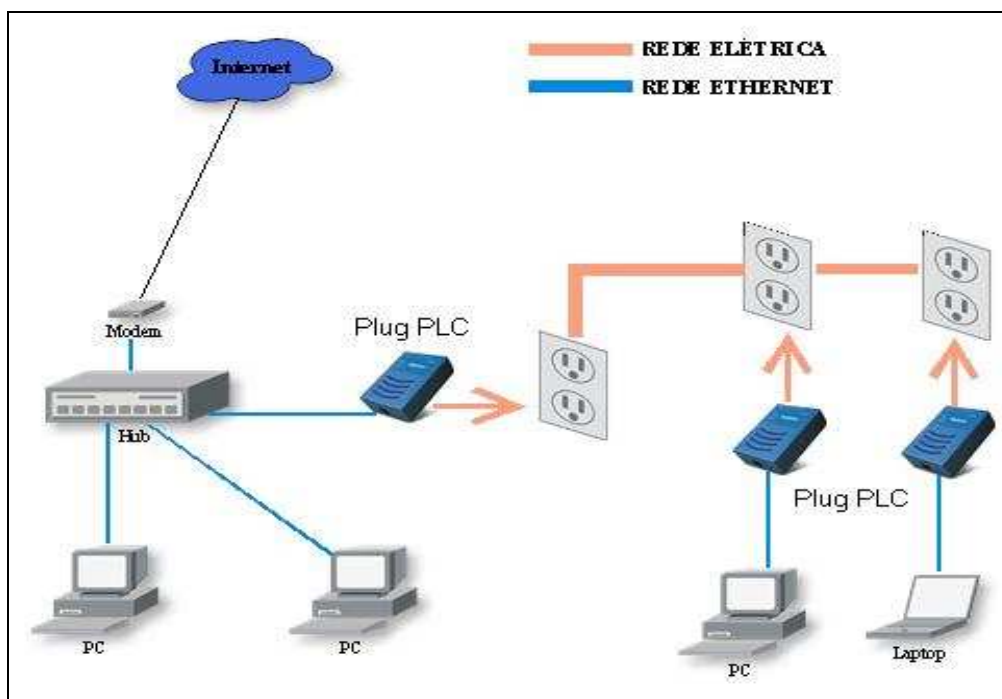


Figura 3. Estrutura de testes PLC na residência

A rede LAN construída na residência com a tecnologia PLC foi rapidamente formada, pois não houve a necessidade de instalar programas ou *drivers* de configuração dos adaptadores PLC nos microcomputadores, bastando apenas plugá-los nas tomadas elétricas definidas pelo autor.

## 5.3. Implantação da Tecnologia PLC na Residência

Com a estrutura PLC *Indoor* montada na residência, iniciou-se a realização de testes com um simples comando *ping* para testar a conexão entre os microcomputadores pertencente à rede PLC. O comando *ping* apresentou o tempo mínimo de resposta do destino de 2 milissegundos, o tempo máximo ficou com 28 milissegundos e a média foi de 10 milissegundos. Os resultados foram apresentados com os adaptadores PLC de cada microcomputador trabalhando a uma taxa de transferência de 12,05 Mbps a uma distância de 4 metros entre os mesmos. Ficou evidente durante os estudos da tecnologia PLC que mesmo os adaptadores sendo projetados para efetuarem a transferência de dados a 56 Mbps, os equipamentos não ultrapassaram a velocidade de 14 Mbps. Esta velocidade de conexão foi medida com software da própria fabricante do equipamento.

### 5.3.1 Estudo do PLC *Indoor* com fontes geradoras de ruídos

Utilizando os adaptadores PLC na residência, foi possível expor esses equipamentos em situações onde correntes ou tensões indesejáveis são produzidas por outros aparelhos elétricos para verificar o funcionamento da tecnologia em teste. Além disso, fatores como conexões elétricas oxidadas e emendas com atrito provocam ruídos na estrutura da rede elétrica da residência.

As fontes geradoras de ruídos e as velocidades de conexões PLC alcançadas para os dois microcomputadores foram:

- a) um forno de microondas com 950 watts de potência, com a velocidade mínima de 6,42 Mbps e a máxima de 12,92 Mbps;
- b) uma máquina de secar roupas de 2000 watts de potência, com variações de velocidade entre 4,60 Mbps e 5,67 Mbps;
- c) um chuveiro elétrico com 5.200 watts de potência, onde as conexões apresentavam taxas de 8 Mbps à 9,12 Mbps;
- d) um aspirador de pó com 1.400 watts de potência, variando entre a perda do sinal a 5,67 Mbps.

### 5.3.2 Estudo do PLC *Indoor* com aplicação da distância

Diante dos testes realizados com a tecnologia PLC observou-se que a distância entre os adaptadores PLC foi um elemento determinante para a qualidade do sinal de dados PLC, impondo limites para a tecnologia. Em razão disso, aplicou-se os testes com a ajuda de um notebook e um adaptador PLC, que possibilitou a movimentação no interior na residência percorrendo as tomadas elétricas e verificando a qualidade do sinal com o utilitário de medição. A mobilidade dos equipamentos permitiu ao autor criar ambientes de testes de maneira rápida, executando o processo de medição do sinal PLC para o estudo da influência do fator distância.

A Tabela 2 apresenta as médias de taxas de transmissão obtidas pelo autor durante a realização dos testes com relação à distância entre os adaptadores PLC, no intervalo de 10 minutos entre um teste e outro.

**Tabela 2. Médias das taxas de transferência obtidas com as distâncias**

| Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps) |
|--------------------|------------------------------|
| 2                  | 13,82                        |
| 7                  | 13,38                        |
| 20                 | 8,43                         |

Outra forma de aplicação dos testes com os adaptadores PLC foi o fator distância com as fontes geradoras de ruídos eletromagnéticos, conforme apresentado na Tabela 3 com as médias das taxas de transferência máximas encontradas durante a realização dos testes. O intervalo entre a realização dos testes foi a cada 10 minutos e com cinco medições para cada distância com o fator ruído gerado pelo aspirador de pó, pois este destacou-se significativamente na influência do sinal PLC.

**Tabela 3. Médias das taxas de transferência obtidas com distâncias e ruídos**

| Distância (metros) | Taxa de transferência (Mbps)    |                                      |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
|                    | Sem ruídos entre os adaptadores | Aspirador de pó entre os adaptadores |
| 2                  | 13,82                           | 12,86                                |
| 7                  | 13,38                           | 10,54                                |
| 20                 | 8,43                            | 3,01                                 |

### 5.3.3 Segurança na Rede PLC *Indoor*

A tecnologia PLC *Indoor* mesmo compartilhada entre as tomadas elétricas proporcionou a segurança dos dados pelo fato de restringir o sinal somente para a rede elétrica da residência diferentemente, por exemplo, da tecnologia *wireless* onde o sinal pode ser detectado além dos limites físicos da casa por algum outro usuário mal intencionado.

A tecnologia PLC estudada por meio dos adaptadores adquiridos possui o algoritmo de criptografia DES 56 bits como segurança das informações transmitidas. Porém, conforme ressalta Andrade (2003), além da criptografia DES existe a possibilidade em projetar outros sistemas de segurança como, por exemplo, a detecção de intrusão que permite administrar os acessos a rede.

## 6. Conclusão

Uma enorme variedade de serviços para diversas finalidades por meio da Internet tornaram-se possíveis, conseqüentemente, com o surgimento de novas tecnologias de acessos para suprir a demanda de informação. Com isso, possibilitou às empresas que fornecem serviços de Internet a oferecerem meios de acessos com taxas de transmissão cada vez maiores e com qualidade, independentemente da conexão utilizada, seja ela com ou sem fio, aos usuários.

Porém, o meio utilizado para difundir o acesso à Internet pode ser uma questão crucial para a disponibilidade dos serviços como, por exemplo, a banda larga, vídeo sob demanda, voz sobre IP entre outros. Dependendo da localização em que o usuário encontra-se ou infraestrutura do lugar, pode tornar impossível a disponibilidade desses serviços, uma vez que a tecnologia necessária para tal finalidade não possa ser implantada por alguma razão.

Como alternativa para preencher essa lacuna tem-se a tecnologia PLC. Essa tecnologia consiste em utilizar a infra-estrutura da rede de energia elétrica, seja pública ou em uma residência, para efetuar a transmissão de dados em alta velocidade. Na modalidade *Indoor* da tecnologia com a utilização de adaptadores PLC, adquiridos pelo autor, foi constatado que em todas as tomadas elétricas da residência a qualidade do sinal sofria pequenas variações onde conseqüentemente as taxas de transferência alteravam-se. Entretanto, aplicando fatores como ruídos na rede elétrica da residência gerados por um chuveiro elétrico, secadora de roupas, forno de microondas e aspirador de pó, e distâncias entre os adaptadores foi possível observar a influência desses na qualidade do sinal PLC. Porém, o resultado foi negativo quando aplicou o ruído provocado pelo aspirador de pó próximo a um dos adaptadores PLC conectado à tomada elétrica.

A utilização da tecnologia PLC na prática apresentou seus pontos positivos. No decorrer do desenvolvimento do trabalho pode-se observar a praticidade e a mobilidade que esta tecnologia apresentou em um ambiente de rede. Além disso, as altas taxas de transmissão alcançadas foi algo positivo, pois as redes elétricas utilizadas não receberam nenhum melhoramento para o aumento da qualidade do sinal da tecnologia PLC. Em sentido contrário, o PLC perde admiração quanto ao custo para a sua aplicação em uma residência. Ainda é uma tecnologia com um custo relativamente alto e de difícil acesso, pois os equipamentos não são facilmente encontrados no comércio.

Embora encontradas essas dificuldades, não tornam a tecnologia em estudo inviável. Isto porque, o estudo de caso realizado mostrou que é viável a aplicabilidade da tecnologia PLC, pois a capilaridade da rede elétrica da residência possibilitou o compartilhamento, com o PLC *Indoor*, da Internet em todas às tomadas elétricas permitindo a mobilidade do meio de

acesso. Aliado a esse fato, ela surgiu como uma alternativa para a propagação do acesso à Internet banda larga aproveitando uma infra-estrutura elétrica já disponibilizada.

## Referências

- APTEL Associação de Empresas Proprietárias de Infra-Estrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações (2003) “**Grupo de trabalho powerline GT powerline: Power Line Communication-plc ou Broadband Over Power Lines-BPL**”, Disponível em: <aftr.qsl.br/plc-anatel.pdf>. Acesso em 28 set. 2007.
- CORRÊA, Josias Rodrigues (2004) “**PLC - Power Line Communications**”, 65 f. Dissertação (Bacharel) - Curso de Sistemas de Informação, União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, Disponível em: <<http://si.uniminas.br/TFC/monografias/TCC%20Josias%20Rodrigues%20Correa-Agosto%202004.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2007.
- HELD, Gilbert (2006) “**Understanding broadband over power line**”, Taylor & Francis Group. New York.
- HRASNICA, Halid; HAIDINE, Abdelfatteh; LEHNERT, Ralf (2004) “**Broadband Powerline Communications Networks Network Design**”, John Wiley & Sons tld., England.
- LIMA JÚNIOR, Almir Wirth (2002) “**Tecnologias de rede & comunicação de dados**” Rio de Janeiro: Altas books.
- SOARES, Luiz Fernando Gomes; LEMOS, Guido; COLCHER, Sergio (1995), “**Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM**”, 2 ed. Rio de Janeiro: Campus.
- TORRES, Gabriel (2001), “**Redes de computadores: curso completo**”, Rio de Janeiro, Axcel.
- VARGAS, Alessandra Antunes (2004) “**Estudo sobre comunicação de dados via rede elétrica para aplicações de automação residencial/predial**”, 65 f. Dissertação (Bacharel) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Disponível em: <[www.ece.ufrgs.br/~fetter/plt/TrabalhoConclusaoAlessandra.pdf](http://www.ece.ufrgs.br/~fetter/plt/TrabalhoConclusaoAlessandra.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2007.
- ZACKER, Craig; DOYLE, Paul (2000) “**Redes de computadores: configuração, manutenção e expansão**”, Tradução Ariovaldo Griesi, Carlos Mello, José Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo: Makron Books.