

ELIEZER FARRANT BRAZ

**Avaliação da Qualidade de
Transmissão utilizando PLC**

**UFCG
CAMPINA GRANDE - 2005**

ELIEZER FARRANT BRAZ

Avaliação da Qualidade de Transmissão utilizando PLC

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como exigência parcial, para obtenção do grau de Engenheiro em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo Sampaio de Alencar.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CAMPINA GRANDE - 2005**



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao prof. Marcelo Sampaio de Alencar pela oportunidade de realizar este trabalho.

Gostaria de agradecer ao aluno do mestrado Ewerton Rômulo S. Castro por toda a ajuda e colaboração durante a realização deste trabalho.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao aluno do mestrado Fabrício Braga Soares de Carvalho por toda ajuda e colaboração durante a realização deste trabalho e pela revisão do mesmo.

Gostaria de agradecer aos meus pais e a minha namorada por toda a ajuda e amor em todos os momentos de minha vida.

SUMÁRIO

Lista de Figuras
Lista de Tabelas
Resumo

1. INTRODUÇÃO	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 Power Line Communications (PLC)	9
2.1.1 Rede elétrica como meio de transmissão	10
2.1.2 Ruído.....	11
2.1.3 Técnicas de comunicação	12
2.1.4 Alocação de frequência	12
2.2 Canal de retorno para a TV digital	13
3. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO	15
3.1 Equipamentos utilizados	15
3.2 Testes realizados	15
3.3 Ambientes utilizados.....	17
3.3.1 Ambiente residencial	17
3.3.2 Prédio da UFCG	18
3.3.3 Prédio residencial	19
4. RESULTADOS	20
4.1 Residência	20
4.2 Prédio da Universidade	25
4.3 Prédio residencial	27
5. CONCLUSÕES	28
6. REFERÊNCIAS	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Last mile access	10
Figura 2 - Last inch access	10
Figura 3 - Diagrama da residência utilizada para realização dos testes	18
Figura 4 - Tempo mínimo de resposta versus tamanho dos pacotes	20
Figura 5 - Tempo máximo de resposta versus tamanho dos pacotes	21
Figura 6 - Tempo médio de resposta versus tamanho dos pacotes	22
Figura 7 - Taxa de transferência versus distância	23
Figura 8 - Taxa de transmissão para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de transmissão para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica	23
Tabela 2 – Tempos de resposta para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica.....	25
Tabela 3 – Dados obtidos para diferentes dias de medições	25
Tabela 4 – Teste de carga utilizando a rede elétrica do LABCOM	26

RESUMO

Estudos estão sendo realizados para a definição do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Uma das áreas de pesquisa diz respeito à definição do canal de retorno, que tem que suportar comunicação reversa. Várias tecnologias podem ser utilizadas para se implementar o canal de retorno. Uma delas é denominada de Power Line Comunicações (PLC), que oferece interessantes vantagens, entretanto, também possui desvantagens consideráveis. Desta forma, realizou-se medições em três ambientes distintos – uma casa residencial, um prédio residencial e em um prédio da Universidade Federal de Campina Grande – para observar o comportamento de um equipamento PLC como meio de comunicação. As medições realizadas indicam que a tecnologia PLC pode ser utilizada como canal de retorno.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, está sendo realizado no Brasil um amplo estudo para a definição de um padrão nacional TV Digital nacional, que é denominado de Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Várias instituições estão participando deste estudo que está sendo financiado pela Financiadora de Estudo e Projetos (FINEP).

Um dos campos de pesquisa mais interessantes diz respeito à definição do canal de retorno (ou de interatividade). Isto porque o elemento chave para a interatividade nos padrões de TV digital é a capacidade dos receptores proverem a comunicação reversa.

Há várias tecnologias que estão sendo analisadas para constituírem o canal de retorno. Um delas é a Power Line Communications (PLC), que utiliza a rede de distribuição e transmissão de energia elétrica como meio de transmissão de dados.

Neste texto, apresenta-se uma análise da qualidade da transmissão de dados, utilizando a tecnologia PLC, em ambientes residenciais e no interior do campus da UFCG, como proposta para a transmissão no canal de retorno do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD).

2. FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

2.1 Power Line Communications (PLC)

As linhas de energia elétrica foram originalmente concebidas para a transmissão e distribuição de energia elétrica das fontes geradoras para os consumidores em geral.

Inicialmente, sua utilização como meio de transmissão de dados tinha como finalidade o monitoramento e controle do sistema contra faltas, e esta finalidade ainda é a principal utilização da rede elétrica como meio de transmissão de dados.

A primeira técnica que fez uso da rede elétrica para a transmissão de dados foi desenvolvida por volta da década de 1950. Foi denominada de *Ripple Control* e se caracterizava pelo uso de baixas frequências (entre 100 e 900Hz) e pela baixa taxa de transmissão de dados na rede de alta tensão. Essa técnica permite comunicação unidirecional e é utilizada ainda hoje no controle de iluminação de postes em estradas, chaveamento de cargas e tarifação [1].

Entretanto, foi a partir da década de 1990, com o crescimento e desenvolvimento sem precedentes da Internet e de tecnologias a ela associadas, como a *Very Large Scale Integration* (VLSI) e a *Digital Signal Processing* (DSP), além da desregulamentação do mercado de telecomunicações que ocorreu primeiramente nos Estados Unidos e depois na Europa e na Ásia, que a utilização da rede elétrica como meio para a transmissão de dados ganhou impulso. [3]

Power Line Communications, também conhecido como *Power Line Telecommunications* (PLT), é um termo empregado para designar tecnologias, equipamentos, aplicações e serviços que proporcionam a comunicação entre usuários por meio de linhas de potência. [6]

O mercado atual envolvendo PLC encontra-se dividido em dois segmentos: o *last mile access*, ou acesso até as residências, e o *last inch access*, ou acesso dentro das residências. Na Figura 1 e na Figura 2, são apresentamos dois diagramas que exemplificam esses dois segmentos.

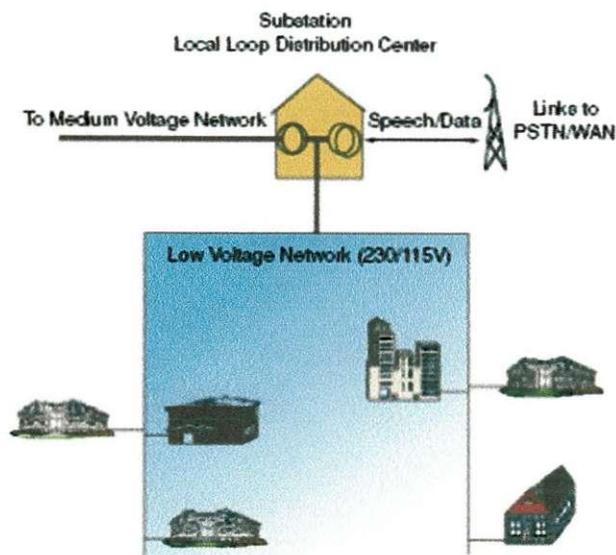
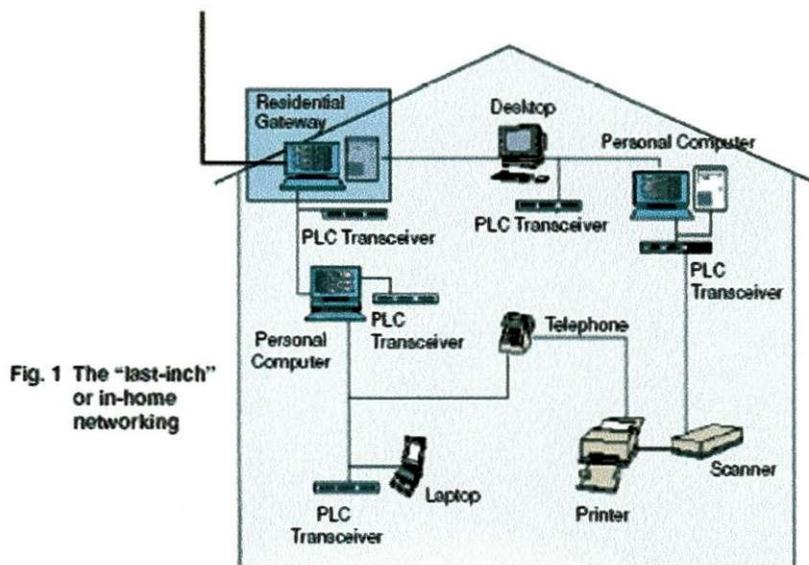
Figura 1 - *Last mile access.*Figura 2 - *Last inch access.*

Fig. 1 The "last-inch" or in-home networking

2.1.1 Rede elétrica como meio de transmissão

As linhas da rede elétrica não foram projetadas para a transmissão de dados e constituem um ambiente de transmissão bastante hostil. Impedâncias variáveis, ruído considerável e atenuação dependente da frequência são as características mais importantes.

O canal de comunicação entre dois dispositivos em uma residência tem uma função de transferência tão complexa quanto a de uma rede de computadores complexa [3]. Muitos dispositivos conectados ao canal possuem impedâncias diferentes e estão conectados de forma aleatória, fazendo com que a resposta em amplitude e em fase possam variar consideravelmente com a frequência. Além disso, como há a conexão e desligamento de dispositivos aleatoriamente no canal, a topologia da rede está sempre sendo alterada, tornando-a variante no tempo.

A propagação do sinal não ocorre em um único trajeto entre o transmissor e o receptor, por isso, o eco resultante também tem que ser considerado. Em geral, consideram-se seis multipercursos, já que multipercursos adicionais são geralmente muito fracos e pouco significativos [1].

Já foi observado em estudos anteriores que a atenuação do canal aumenta para altas frequências. Portanto, o canal pode ser descrito como sendo aleatório e variante no tempo, e tendo um relação sinal-ruído (SNR) dependente da frequência sobre a largura da banda de transmissão [3],[4].

2.1.2 Ruído

O ruído na rede elétrica é um grande problema quando se deseja transmitir dados pela rede. Fontes típicas de ruído são motores de escova, lâmpadas fluorescentes e halogênicas, fontes chaveadas, etc.

Vários estudos sobre as características do ruído já foram realizados. De acordo com esses estudos, o ruído encontrado na rede elétrica pode ser classificado em quatro categorias [3], [4]:

- Ruído colorido: possui pequena densidade espectral de potência e diminui com o aumento da frequência. É a soma de todas as fontes de ruído de baixa potência e pode ser variante no tempo;
- Ruído de banda estreita: ruído devido principalmente aos sinais senoidais. O nível de interferência varia durante intervalos diferentes ao longo do dia;

- Ruído de impulsos periódicos: impulsos produzidos por aparelhos que produzem harmônicos que são múltiplos de 50/60 Hz;
- Ruído de impulsos assíncronos: ruído resultante de operações de chaveamento. É o pior tipo de ruído, pois é capaz de destruir blocos de dados em determinadas frequências.

2.1.3 Técnicas de comunicação

Técnicas de comunicação como *Frequency Shift Keying* (FSK), *Code-Division Multiple Access* (CDMA) e *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) têm sido discutidas como escolhas apropriadas para PLC [3], [4].

Para aplicações de baixo custo, com baixa taxa de transmissão, como proteção e telemetria de linhas de transmissão de alta tensão, FSK é uma boa solução. Para taxas de transmissão até 1Mbps, CDMA é a tecnologia que provê os melhores resultados. Entretanto, para aplicações cuja taxa de transmissão seja maior do que 1Mbps, OFDM é a tecnologia que deve ser empregada.

2.1.4 Alocação de frequência

Nos Estados Unidos, a faixa de frequência de 3 a 500 kHz pode ser usada para comunicações pela rede elétrica. Na Europa, a regulamentação sobre a faixa de frequência que pode ser utilizada para PLC é mais rigorosa e é regida pela norma CENELEC EM 50065. No padrão europeu, a atribuição de frequência para PLC para as concessionárias e distribuidoras de energia têm cinco sub-bandas que variam de 3 a 148,5 kHz, sendo proibido o uso de frequências superiores a 150 kHz para se evitar interferências em serviços de rádio. As cinco sub-bandas são as seguintes [1]:

- 3 a 9 kHz: O uso desta faixa de frequência é limitado para os fornecedores de energia;

- 9 a 95 kHz: Também chamada de Banda A, esta faixa é limitada para fornecedores de energia e seus concessionários, sendo reservada para o uso de telemetria;
- 95 a 125kHz: Denominado de Banda B, é destinada aos provedores de energia. Não exige nenhum protocolo de acesso.
- 125 a 140 kHz: Limitada aos clientes de fornecedores de energia. É referenciada como Banda C. Um protocolo de CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), que usa frequência central de 132,5 kHz para realizar operações simultâneas de vários sistemas dentro desta faixa já foi definido;
- 140 a 148,5 kHz: Conhecida como Banda D, é limitada aos clientes dos provedores de energia. Nenhum protocolo de acesso é definido para esta faixa de frequência.

A faixa de frequência de 1 a 30 MHz pode ser utilizada para aplicações de PLC em ambientes residenciais e escritórios.

Nos Estados Unidos, a *Eletronics Industry Association* (EIA), o IEEE e a *Automatic Meter Reading Association* (AMRA) bem como a CENELEC, na Europa, estão desenvolvendo novos padrões para sistemas PLC de 2 a 30 MHz.

2.2 Canal de retorno para a TV digital

O padrão de TV Digital que o Brasil pretende lançar deve suportar interatividade. Para os padrões de TV Digital, para haver interatividade é necessário que os receptores forneçam comunicação reversa. Os aparelhos de televisão convencionais também estão aptos a receber o conteúdo da TV Digital e fazer a interatividade por meio de um equipamento denominado *set-top box*. [1]

Atualmente, há cinco propostas de transmissão do canal de retorno que estão sendo estudadas para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTDV):

- Utilização de canais de comunicação de dados da telefonia celular (CDMA ou GSM);

- Uso de redes *ad hoc*;
- Utilização de radiofrequência;
- Utilização da telefonia fixa (modem telefônico, serviços xDSL ou *cable modem*);
- Uso de comunicações utilizando linhas de distribuição da rede elétrica (PLC).

Neste texto é analisada a comunicação utilizando-se PLC. A grande vantagem na utilização de PLC é o fato das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica serem um meio amplamente disponível e estabelecido, uma vez que praticamente todas as residências brasileiras já dispõem de energia elétrica (além disso, 90,3% das residências brasileiras possuem um aparelho de televisão colorido e 99,5% das residências já possuem acesso à energia elétrica - [2]).

Entretanto, há algumas desvantagens em se utilizar PLC como canal de retorno. Como já foi dito antes, a rede de distribuição e transmissão de energia elétrica é um meio bastante hostil para se realizar comunicação. Além disso, na rede de distribuição, há os transformadores de tensão que atuam como filtros para as altas frequências, e conseqüentemente para as frequências de utilização do PLC. Assim, tem que se adotar um esquema para contornar este problema.

Está sendo analisada a possibilidade de se empregar sistemas híbridos. Uma possibilidade seria utilizar o PLC para fornecer o canal de retorno a partir do transformador abaixador de tensão, enquanto que o sinal de retorno da TV Digital poderia ser enviado da emissora, ou provedor, até o transformador por meio de fibras ópticas ou mesmo por intermédio de radiofrequência, para a partir daí ser retransmitido a todas as casas de um quarteirão ou de um prédio utilizando PLC.

Neste capítulo, comentou-se brevemente sobre a tecnologia PLC, mostrando-se suas vantagens e desvantagens como meio de comunicação e como uma possível alternativa para implementar o canal de retorno que está sendo definido para o padrão nacional de TV Digital. No próximo capítulo, será descrito o procedimento utilizado para realizar os testes da utilização da tecnologia PLC como canal de comunicação, e em especial de sua utilização na implantação do canal de retorno para o padrão nacional de TV Digital.

3. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

3.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para realizar as medições foram os seguintes:

- *Laptop* com processador Intel Celeron de 1.5 GHz, 256 Mbytes de memória RAM, HD com capacidade de armazenamento de 20 Gbytes e placa de rede;
- Equipamento PLC já disponível comercialmente, da marca Asoka™ USA Corporation, com as seguintes características: taxa de transmissão máxima de 14Mbps, protocolo TCP/IP, interface USB ou Ethernet, bivolt (110V ou 220V), faixa de frequência entre 4,5 e 21MHz, alcance máximo de 500m. O equipamento vem acompanhado do *software* Asoka™ PlugLink™ Wall Mount, que fornece a taxa de transmissão em tempo real.

3.2 Testes realizados

Para realizar os testes, conectou-se um dos terminais do PLC a um *laptop* por meio de um cabo de rede e em seguida, conectou-se esse terminal na rede elétrica do ambiente no qual os testes estavam sendo realizados. O conjunto formado pelo terminal do PLC e o *laptop* será doravante denominado de *transmissor*. O outro terminal do PLC, que doravante será denominado de *receptor*, foi colocado em diversas tomadas da rede elétrica dos ambientes no qual os testes estavam sendo realizados.

Para cada local no qual o receptor era conectado à rede elétrica, estabeleceu-se a conexão entre o transmissor e o receptor e começou-se a enviar dados do transmissor para o receptor. Em seguida, enviaram-se pacotes de dados de 32 bytes. Aumentou-se gradualmente o tamanho dos pacotes que eram enviados do transmissor para o receptor. Os demais tamanhos de pacotes foram em bytes: 64, 100, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 e 2000.

Em todos os testes realizados neste ambiente os seguintes aparelhos estiveram constantemente conectados a rede elétrica: uma geladeira e dois *freezers*.

As variações da localização do receptor e o aumento do tamanho dos pacotes enviados do transmissor para o receptor tinham como finalidade realizar os seguintes testes [2]:

- *Alcance*: deseja-se medir a variação da transmissão com a distância; para tanto, conecta-se o cabo de rede em um dos terminais do PLC, e este é ligado a uma tomada. A partir daí, vai-se conectar o outro terminal PLC em uma tomada que esteja situada a uma determinada distância do terminal original. Então, aumenta-se gradualmente a distância entre os terminais, com o intuito de medir o alcance do equipamento.
- *Taxa de transmissão*: almeja-se medir a taxa média de transmissão no canal; para isto, utiliza-se o *software* que acompanha o equipamento, e que fornece em tempo real a taxa de transmissão. Segue-se então o mesmo procedimento descrito anteriormente: variando-se a distância entre os terminais, mede-se a respectiva taxa de transmissão.
- *Perda de desempenho: avaliação da qualidade do serviço (QoS)*: a partir dos valores obtidos nos dois itens anteriores, pode-se analisar a perda de desempenho, qual seja o decaimento da taxa de transmissão em função da distância. Também foram realizados testes de transmissão de pacotes, que consistiram na transmissão de pacotes de tamanho variável com o objetivo de se medir o tempo médio de atraso na transmissão destes dados.
- *Teste de carregamento do sistema*: a partir dos procedimentos empregados para a medição da taxa de transmissão, conectam-se diversos equipamentos à rede elétrica, de forma a se avaliar o comportamento da taxa de transferência do sinal nestas circunstâncias (tais equipamentos para a residência são: liquidificador, forno de microondas, televisores, computadores; já para o ambiente do laboratório utilizam-se computadores, impressora, scanner, equipamentos diversos, etc).

3.3 Ambientes utilizados

Foram escolhidos três ambientes para a realização das medidas: uma residência típica, um prédio (bloco) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e um prédio residencial de vinte andares. Todos estes cenários de medição se situam na cidade de Campina Grande, cuja tensão é de 220V.

3.3.1 Ambiente residencial

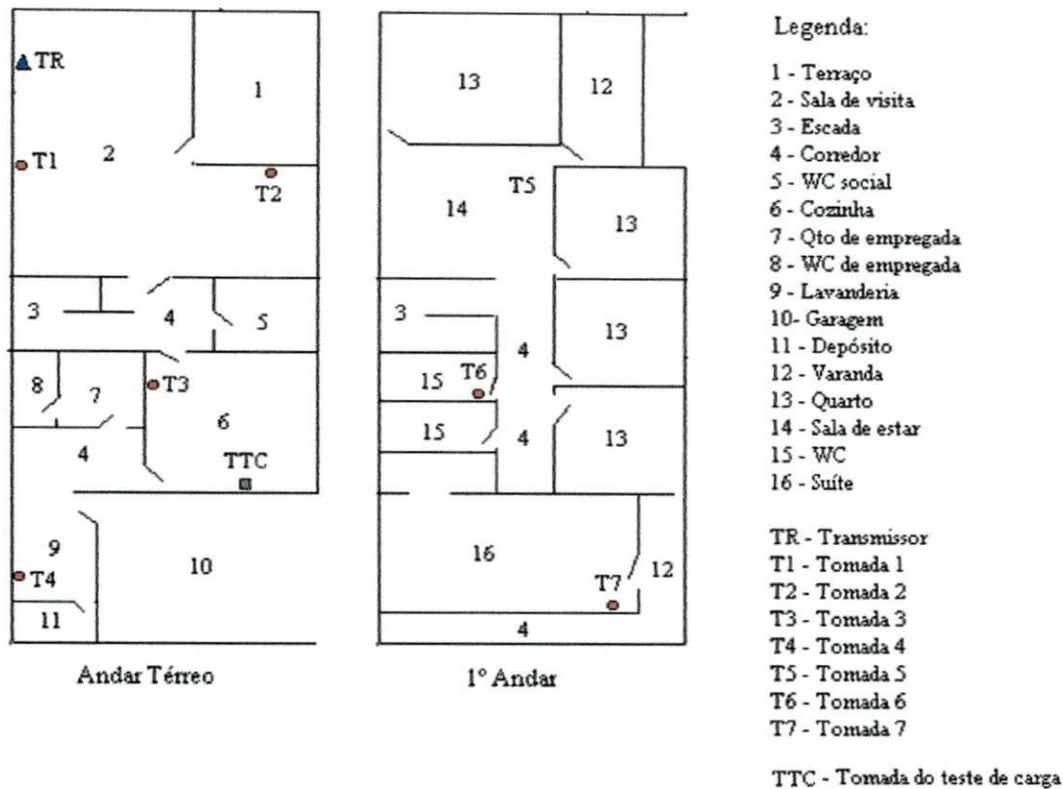
A residência escolhida para se realizar os testes é uma residência típica que possui primeiro andar e se localiza nas imediações da UFCG. Na Figura 3, é apresentado um diagrama correspondente aos dois pisos da casa.

Na Figura 3, também se observa a localização relativa, na residência, do transmissor (terminal PLC conectado ao *laptop*) e das tomadas da rede elétrica nas quais conectou-se o receptor (o outro terminal do PLC). Para facilitar a identificação, foram rotuladas as tomadas na ordem em foram utilizadas para se realizar os testes. Infelizmente, não foi possível fazer o mesmo para os outros ambientes.

Foi neste ambiente que a maior parte dos testes foi realizada. Vários parâmetros foram verificados, como tempo mínimo, médio e máximo de resposta de envio de um pacote, além da taxa de transmissão com relação ao aumento da distância entre transmissor e receptor e o aumento dos pacotes de dados transmitidos.

Outro conjunto de medições realizadas teve como objetivo verificar a influência na transmissão de dados entre transmissor e receptor da conexão de um aparelho elétrico ou eletrônico na rede elétrica da casa. Os dispositivos que foram conectados foram: liquidificador, batedeira, aparelho de som estéreo portátil, TV de 14 polegadas, forno de microondas e máquina de lavar roupas. Como já foi dito anteriormente, havia uma carga fixa em todas as medições que consistia de um refrigerador e dois *freezers*. Para realizar estas medições, o receptor foi conectado em T3 e os dispositivos portáteis foram conectados à rede elétrica no local indicado por TTC. A máquina de lavar roupas estava conectada a rede elétrica em T4.

Figura 3 – Diagrama da residência utilizada para realização dos testes.



3.3.2 Prédio da UFCG

Os testes dentro da Universidade foram realizados no Bloco CJ pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica. Neste ambiente, a maior parte dos testes foi realizada no Laboratório de Comunicações (LABCOM). Vale salientar que a rede elétrica do Bloco CJ é trifásica e que não se conhece a disposição de fases dos diversos blocos que compõem o Departamento de Engenharia Elétrica.

O LABCOM é composto de sete computadores, uma impressora laser e um aparelho de ar condicionado constantemente em uso. Realizaram-se os mesmos testes de avaliação da taxa de transmissão ao se variar a distância entre os terminais PLC dentro do laboratório e ao longo do bloco, que possui mais três laboratórios do porte do LABCOM, bem como vinte salas particulares de professores e alunos de pós-graduação [2].

Os testes foram realizados em dois dias diferentes, sendo o primeiro dia um dia normal de aula e trabalho na universidade e o outro um dia de um final de semana. Isto foi

feito com o intuito de se verificar o comportamento do PLC em duas situações distintas: carga normal de funcionamento da rede elétrica (dia normal de trabalho), carga mínima da rede (final de semana).

Outro teste que foi realizado dentro do LABCOM foi o aumento gradual da carga na rede elétrica, pelo aumento de dispositivos ligados a ela, com transmissor e receptor em posições fixas dentro do laboratório. Transmitiu-se dados do transmissor para o receptor continuamente durante cinco minutos, de modo a verificar o comportamento da rede (taxa de transmissão média e taxa de erro). Estes testes foram realizados em um final de semana, para que cargas externas ao laboratório não inviabilizassem os testes.

3.3.3 Prédio residencial

O prédio residencial utilizado para a realização dos testes é localizado na área central da cidade de Campina Grande. Possui 20 andares e quatro apartamentos por andar. Os testes planejados para este ambiente eram, basicamente, testes de alcance, em virtude da dificuldade de se saber quais equipamentos estavam em uso nos apartamentos quando da realização dos testes.

Foi obtido acesso a um apartamento localizado no décimo quinto andar e assim, os testes consistiriam em se conectar o transmissor no neste apartamento e o receptor iria ser colocado em tomadas dos corredores de cada andar, caso possível.

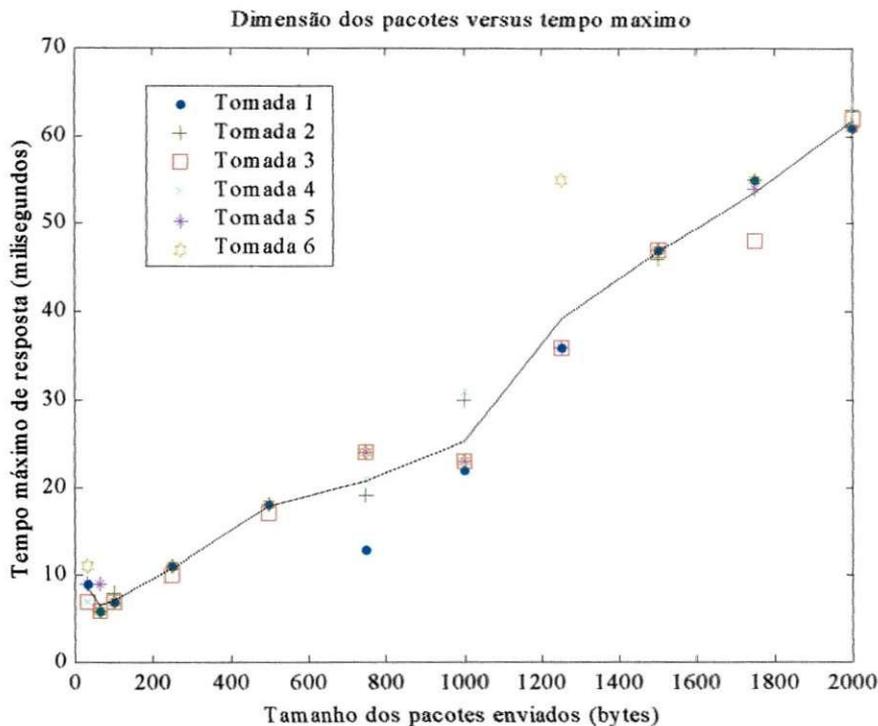
Outra motivação para realizar os testes em um prédio residencial foi o fato de que se poderia utilizá-lo para simular a situação de utilização de PLC conectando redes de computadores de várias casas abastecidas por um único transformador.

Neste capítulo, descreveu-se o procedimento utilizado para realizar os testes da utilização da tecnologia PLC como canal de comunicação, e em especial de sua utilização na implantação do canal de retorno para o padrão nacional de TV Digital. No próximo capítulo, serão apresentados os resultados obtidos para os três ambientes nos quais foram realizadas as medições, bem como uma análise desses dados.

Pode-se verificar, conforme esperado, que o tempo mínimo aumenta com o aumento do tamanho dos pacotes. É interessante verificar que este aumento é praticamente linear.

Um comportamento muito parecido ocorre para o tempo máximos de resposta e o tempo médio de resposta, como pode ser visto na Figura 5 e na Figura 6. As linhas nos gráficos indicam as médias dos valores obtidos.

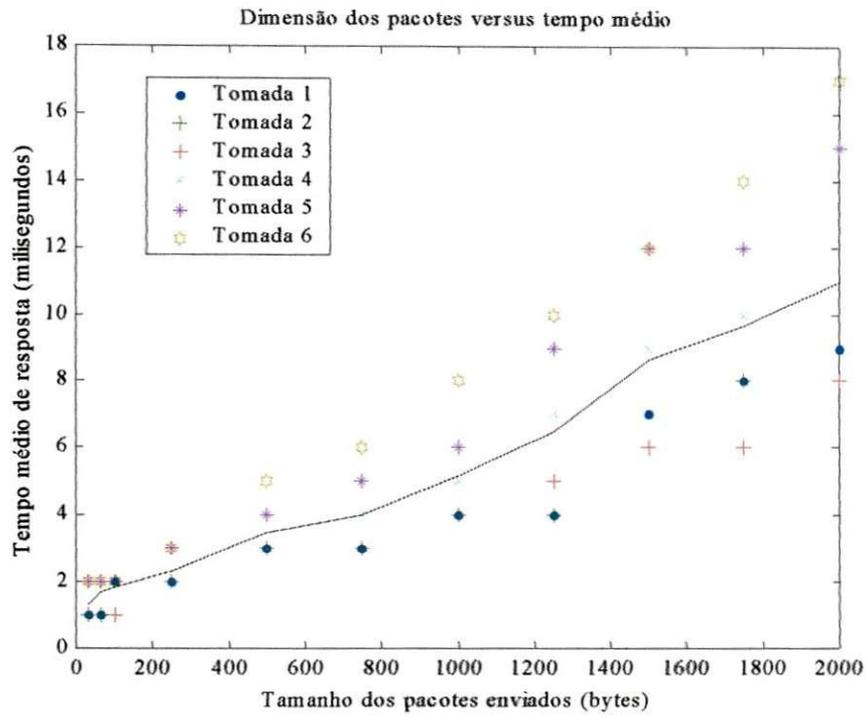
Figura 5 – Tempo máximo de resposta versus tamanho dos pacotes.



É interessante observar que há uma grande diferença em magnitude entre os valores do tempo de resposta máximo e os valores de tempo de resposta mínimo e médio. Isto pode ser explicado pelo fato de que como existem múltiplos caminhos, na transmissão dos pacotes iniciais o equipamento PLC verifica qual é o melhor caminho e, a partir disto, otimiza-se sua transmissão.

Para o equipamento PLC utilizado, o tamanho máximo do pacote que pôde ser enviado nas condições existentes na residência foi de 2034 bytes.

Figura 6 – Tempo médio de resposta versus tamanho dos pacotes.



Também foi analisada a variação da taxa de transferência com o aumento da distância entre transmissor e receptor. Os resultados obtidos estão contidos no gráfico da Figura 7.

Pode-se observar que a taxa de transferência diminui com o aumento da distância, conforme esperado. Infelizmente não foi possível realizar testes com distâncias superiores, mas pelo que pode ser observado pelo gráfico, para as condições nas quais os testes foram realizados, dificilmente se obteria um alcance superior a 50 metros.

Figura 7 – Taxa de transferência versus distância.

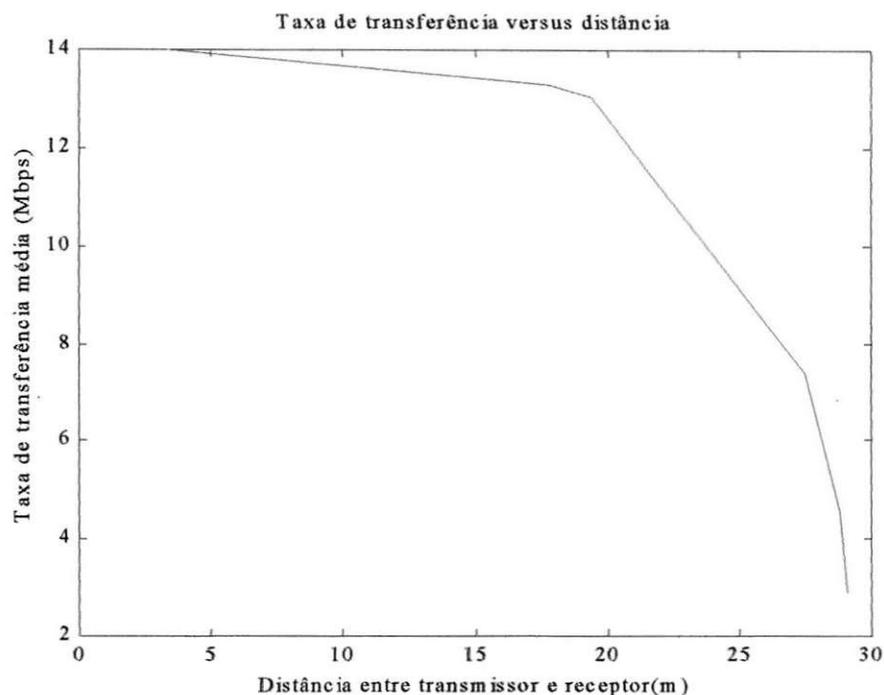


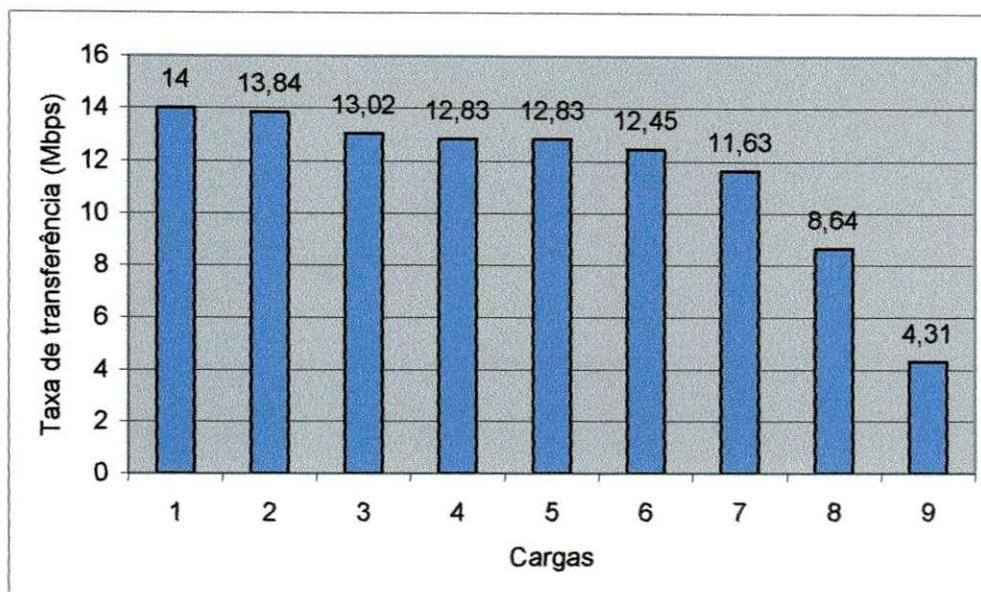
Tabela 1 – Taxa de transmissão para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica.

Carga	Taxa de transmissão (Mbps)
1 – 1 refrigerador e 2 freezers ¹	14,00
2 – TV de 14 polegadas	13,84
3 - 10 lâmpadas incandescentes acesas e 1 lâmpada fluorescente	13,02
4 - 4 lâmpadas de fluorescentes e 4 lâmpadas incandescentes	12,83
5 - Máquina de lavar roupa	12,83
6 - Microondas	12,45
7 - Aparelho portátil de som stereo	11,63
8 - Batedeira	8,64
9 - Liquidificador	4,31

Com relação à influência na taxa de transmissão da adição de um dispositivo elétrico ou eletrônico na rede, foram obtidos os dados da Tabela 1. Graficamente, os dados ficam da forma mostrada na Figura 8.

¹ Em todas medições essa carga esteve presente.

Figura 8 - Taxa de transmissão para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica.



Pode-se verificar, pelos resultados obtidos, que dispositivos eletrônicos como rádios e televisões, bem como outros aparelhos comuns em residências como máquinas de lavar roupa e geladeiras, não alteram significativamente a taxa de transmissão.

Os dois aparelhos que mais tiveram influência na taxa de transmissão foram o liquidificador e a batedeira. Isto ocorre porque esses aparelhos possuem motores de escova que lançam uma grande quantidade de harmônicos na rede quando estão em funcionamento. Os valores da taxa de transmissão exibidos foram as taxas de transmissão após um certo tempo de funcionamento dos aparelhos. Logo após terem sido ligados, eles proporcionaram um impacto ainda maior na taxa de transmissão.

Os tempos mínimo, máximo e médio de resposta do envio de um pacote para cada um das cargas testadas estão contidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de resposta para diferentes aparelhos ligados à rede elétrica.

Carga	Tempo mínimo de resposta (ms)	Tempo mínimo de resposta (ms)	Tempo mínimo de resposta (ms)
1 refrigerador e 2 freezers ²	3	30	4
TV de 14 polegadas	4	23	4
10 lâmpadas incandescentes acesas e 1 lâmpada fluorescente	4	30	4
4 lâmpadas fluorescentes e 4 lâmpadas incandescentes	4	31	4
Máquina de lavar roupa	3	30	4
Microondas	4	35	4
Aparelho portátil de som stereo	4	30	4
Batedeira	4	61	7
Liquidificador	4	45	6

4.2 Prédio da Universidade

Os resultados obtidos para a taxa de transmissão (em Mbps) estão na Tabela 3 (os pontos de medição foram os mesmos nos dois dias):

Tabela 3 – Dados obtidos para diferentes dias de medições.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Dia útil	5,72	0,9	0	0
Final de semana	8,53	4,04	2,40	2,40

Os valores da taxa de transmissão iguais a “0” significam que a qualidade do canal de transmissão estava em um nível tão baixo que não era possível enviar dados do transmissor para o receptor.

Como era de se esperar, o desempenho da rede é bem melhor quando a carga conectada a ela é menor. Embora não tenha adicionado nenhuma informação nova, esses testes foram importantes para se realizar uma análise do funcionamento do equipamento

² Em todas medições essa carga esteve presente.

PLC, pois é praticamente um estudo de cargas extremas: em um dia de funcionamento normal da Universidade a carga na rede elétrica é praticamente máxima, já que quase todos os computadores, aparelhos de ar condicionados e lâmpadas fluorescentes estão ligados. Além disso, a carga na rede elétrica do bloco CJ é bem superior à de uma residência normal e o comportamento do equipamento nestas circunstâncias também era objeto de análise.

Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Teste de carga utilizando a rede elétrica do LABCOM.

Carga	Taxa de transmissão (Mbps)	Nº de pacotes perdidos ³
- 3 computadores - 1 laptop	6,51	0
- 4 computadores - 1 laptop	6,35	0
- 4 computadores - 1 laptop - 7 lâmpadas fluorescentes	6,35	0
- 4 computadores - 1 laptop - 7 lâmpadas fluorescentes - 1 ar-condicionado	6,73	0
- 5 computadores - 1 laptop - 7 lâmpadas fluorescentes - 1 ar-condicionado	6,35	0

Pelos resultados acima, pode-se notar que no caso específico das cargas utilizadas, a taxa de transmissão praticamente não se alterou com o aumento da carga. Além disso, não houve pacotes de dados perdidos. Para medição do erro, o ideal teria sido utilizar um *software* específico de gerenciamento de rede capaz de fornecer a taxa de erro por bits. Entretanto, devido à falta de tempo disponível para obter, instalar e, principalmente, aprender a utilizar o *software*, não foi possível realizar este tipo de teste. Deixa-se como sugestão para um trabalho futuro tal experimento.

O fato da taxa de transmissão ter permanecido praticamente constante mesmo com a adição de novas cargas ao sistema é um bom indicativo da robustez do dispositivo e, mais especificamente, da tecnologia PLC.

³ O ideal teria sido medir a taxa de erro por bit, mas o *software* não apresentava este dado.