



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GTL - 31  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XVI  
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMA  
ELÉTRICO - GTL**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE DE INFORMAÇÕES,  
ATRAVÉS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, UTILIZANDO A TECNOLOGIA  
POWER LINE COMMUNICATION (PLC)**

**HÉRCULES GOMES TOSTES \*      JAIR L. SILVA      MARCELO V. SEGATTO      EVANDRO T. SALLES**

**ESPÍRITO SANTO CENTRAIS ELÉTRICAS S/A      UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**RESUMO**

Este trabalho retrata um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, estabelecido em parceria entre a Espírito Santo Centrais Elétricas S/A (ESCELSA) e a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). A pesquisa realizou-se sobre o desenvolvimento e testes de comunicação de dados e imagem utilizando a tecnologia Power Line Communication (PLC).

Os objetivos do projeto foram:

- 1) Analisar tecnologias existentes para comunicação sobre redes elétricas, utilizando a infra-estrutura da Escelsa dentro do Estado do Espírito Santo;
- 2) Implementar solução de telemetria, a pelo menos 9600 bps, com sinais medidos em diferentes pontos (simulando os consumidores) e injetados na rede elétrica, e coletados em um concentrador, que os armazenará em um banco de dados, que pode ser acessado pelo consumidor via Internet;
- 3) Efetuar testes de qualidade das informações transmitidas e taxas admissíveis com o uso de sinais conhecidos, analisando formas de acoplamento de sinais à rede de energia, considerando-se as características da mesma;
- 4) Implementar um sistema de comunicação de dados, com taxa superior à 1 Mbps, em rede elétrica, e efetuar testes da qualidade alcançável no mesmo, para aplicações de Internet e envio de sinais de vídeo (aplicação em monitoramento e vigilância) e áudio.

Durante a realização do projeto, um sistema de comunicações utilizando a rede elétrica foi desenvolvido, baseado em uma solução comercial da EBA PLC. Os equipamentos adquiridos foram utilizados para formar uma rede de comunicações entre as dependências internas do Departamento de Engenharia Elétrica e a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) experimental, na UFES. Foram também realizados testes em um edifício residencial e em uma subestação da Escelsa.

**PALAVRAS-CHAVE**

Power Line Communication, telemetria, Internet, dados, imagem.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A rede de energia elétrica começou a ser utilizada como meio de comunicação de dados já na década de 1920, junto com o processo de eletrificação das cidades, sendo possível a transmissão de voz via portadora de frequência. As linhas de média e baixa tensão começaram a ser utilizadas para transmissão de dados na década de 1930, através do envio de portadoras de informação em frequências próximas à da rede elétrica, o que permitiu o fluxo de informações por transformadores com baixa atenuação. A taxa de transmissão era muito baixa, da ordem de poucos bits por segundo, unidirecional e a potência de transmissão muito alta.

Nos dias atuais, duas das técnicas mais utilizadas para comunicação digital em redes de baixa tensão, baseiam-se em Espalhamento de Espectro (Spread Spectrum – SS) e Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Estas técnicas permitem taxas de transmissão da ordem de

Mega bits por segundo (Mbps), operam em faixas de frequências bastante superiores à faixa da rede, requerendo uma menor potência de transmissão. As características adversas do canal PLC impossibilitam a comunicação de dados a altas taxas de transmissão utilizando esquemas de modulação de portadora única. A aplicação de sistemas baseados em PLC, em processos industriais, apresenta uma grande vantagem em relação às redes tradicionais (Ethernet, Profibus, Fieldbus, etc...) por utilizar o mesmo cabo de energia para comunicação entre os dispositivos do processo, eliminando um ponto a mais de manutenção, assim como, evita colisão na rede, uma vez que o sistema PLC utiliza modulação digital.

## 2.0 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA PLC

A análise da viabilidade da utilização do sistema Power Line Communication para comunicação de dados requer um estudo detalhado do desempenho desse sistema em situação real. A certeza da aplicação em comunicação só é garantida mediante o conhecimento dos efeitos que cada tipo de carga, por exemplo um reator eletrônico, provocam no sistema. Baseado em tal fato, uma análise espectral minuciosa da rede elétrica, tanto em nível de potência do sinal e do ruído, quanto em nível de reflexões foi elaborada.

### 2.1 - Equipamentos PLC

Existem hoje soluções comerciais PLC aplicadas, quase na sua totalidade, à redes de baixa tensão. Todos os fabricantes consultados utilizam técnicas de transmissão baseadas em múltiplas portadoras. Os equipamentos PLC podem ser divididos em 3 categorias: o HE, o HG e o CPE. O HE (Head End) é responsável por injetar o sinal PLC na rede elétrica e controlar os acessos dos demais equipamentos. Em geral, é instalado em um ponto imediatamente abaixo dos transformadores de alimentação de uma dada região, um edifício por exemplo.

O HG (Home Gateway) é um repetidor e é utilizado para aumentar o alcance do sistema PLC. O HG utiliza um *link* diferente do utilizado pelo HE. O CPE (Customer Premises Equipment) é o equipamento que deve ser instalado pelo usuário do sistema PLC. Ele é responsável por fazer a interface entre o computador ou outro equipamento que utilize o sistema PLC.

### 2.2 - Topologia Física da Rede

Com o lançamento do cabo de energia elétrica do prédio CTII até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), a topologia física da rede PLCC ficou como mostrada na figura 1.

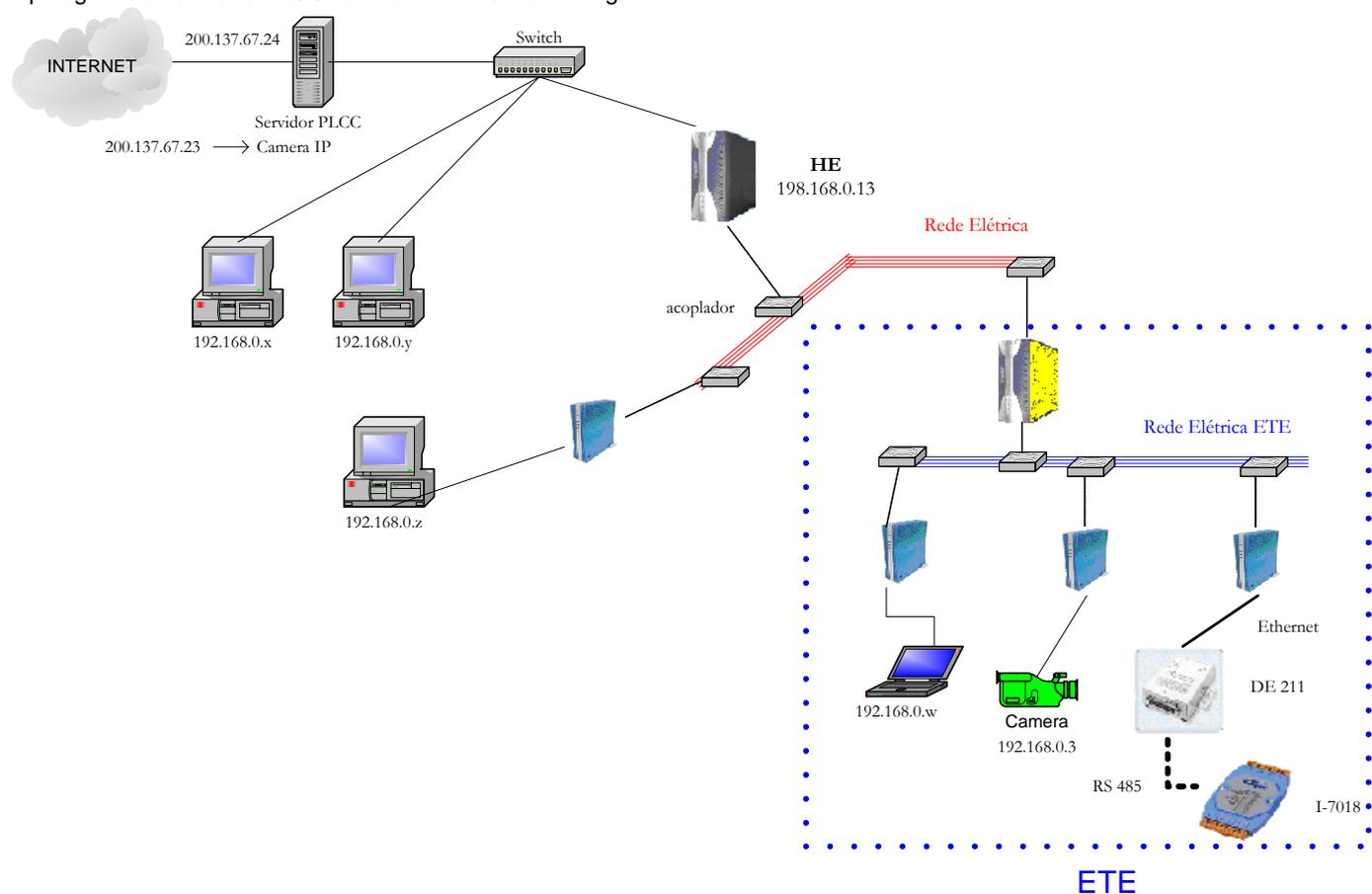


FIGURA 1. Rede PLC

Portanto o HE, localizado na parte externa do prédio CTII, é ligado via cabo de energia até um HG situado na entrada da ETE, para repetir o sinal PLCC proveniente do HE até as tomadas localizadas nos reatores e nos locais de medida. O HG provê sinal para um modem CPE ligado a uma tomada situada num dos reatores da ETE, ao qual é ligado um laptop, quando da realização de testes de performance de transporte de dados. Um outro CPE pendurado no HG é utilizado para transmissão de medidas de Acidez (Ph) capturadas pelo módulo I-7018 e convertidas para Ethernet via conversor DE-211. O último CPE é utilizado para transporte de imagens coletadas pela câmara IP, afixada em um poste em frente ao portão de acesso a ETE.

### 2.3 – Resultados alcançados

Durante a realização do projeto, um sistema de comunicações utilizando a rede elétrica foi desenvolvido e a rede foi testada em dois diferentes níveis:

1. **Físico.** Testes físicos foram realizados com o objetivo de analisar a qualidade do sinal trafegando pela rede elétrica;
2. **Rede.** Medidas do tráfego IP na rede.

Para cada um dos níveis, um procedimento experimental foi definido e aplicado.

#### 2.3.1 – Tráfego TCP/IP

A Figura 2 mostra o esquema de ligação do sistema de comunicação via PLC. O laboratório para teste do sistema (PLCCLab) foi interligado à ETE via um cabo aéreo. O sinal PLC é injetado pelo HE localizado no prédio do CT-II e repetido para a rede elétrica da ETE por um HG. O uso do HG é necessário pois as duas redes elétricas, CT-II e ETE, são alimentadas por transformadores diferentes. Trechos específicos foram selecionados a fim de se avaliar a influência que cada um deles ocasiona no comportamento do sistema no que tange a qualidade do sinal trafegando pela rede elétrica e às medidas do tráfego IP na rede.

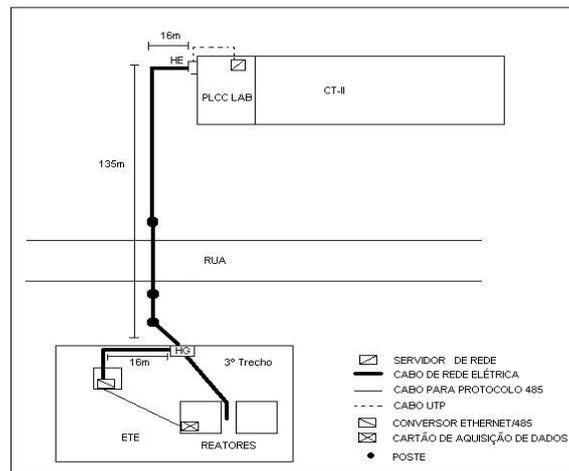


FIGURA 2- Esquema da ligação entre o prédio do CT-II e a ETE. O cabo de energia que liga o CT-II a ETE está sendo usado exclusivamente para a transmissão de dados.

#### • Procedimento

Os testes de desempenho da rede foram realizados com o auxílio do programa computacional **IPERF**, desenvolvido pela Universidade de Illinois nos Estados Unidos. O programa funciona em modo cliente-servidor, o que significa que em um computador o **IPERF** será executado como servidor e em outro como cliente. O teste de desempenho é realizado com o cliente enviando dados para o servidor, podendo também fazer o caminho de volta caso seja requisitado. O **IPERF** permite definir o tamanho da janela TCP desejada para tráfego das informações do teste de desempenho.

#### 1º Teste

Para o primeiro teste, foi executado o **IPERF** em modo servidor em um computador no PLCCLab localizado no prédio CTII. O cliente foi executado em um *notebook* na entrada de energia da ETE, por onde chega o cabo que leva o sinal injetado pelo HE.. O tráfego obtido, conforme demonstra a Figura 3 (próxima página), apresenta uma taxa média de aproximadamente 5.7 Mbps, mantendo-se praticamente constante durante as 10 horas do teste. O resultado obtido foi fortemente influenciado pela distância entre o HG e o HE e atenuação no trecho foi de aproximadamente 25 dB.

#### 2º Teste

Para o segundo teste, o **IPERF** foi executado em modo servidor em um computador no PLCCLab localizado no prédio CTII. O cliente foi executado em um *notebook* em um CPE ligado a uma tomada de energia localizada no REATOR da ETE. A Figura 4 (próxima página) mostra que a taxa de transmissão obtida ao longo do tempo tem

valor médio de 300 kbps. O baixo valor encontrado deve-se principalmente ao acionamento regular de vários motores trifásicos utilizados pelo REATOR da ETE.

### 3º Teste

Após a realização do segundo teste, percebe-se a redução na taxa de transmissão total do sistema. Com o objetivo de melhor caracterizar essa perda na taxa o terceiro teste foi elaborado. Neste teste, o servidor e cliente do **IPERF** são executados no HG e em um CPE no interior da ETE. A Figura 5 (próxima página) mostra como se comportou a taxa de transmissão durante o período do teste. É bem claro na figura como a taxa se mostrou instável, existindo intervalos de tempo onde se transmitiu a taxas de quase 1.5 Mbps e em outros foi quase a zero. Esta última figura ilustra bem a sensibilidade do sistema a fatores externos como cargas ligadas à rede elétrica.

### 3.0 - SISTEMA DE TELEMETRIA

Foram desenvolvidas duas soluções para efetuar a coleta de dados através de rede elétrica. Uma delas utiliza equipamentos e software comerciais configurados para esta função e a outra foi desenvolvida especificamente para este fim. Tal decisão permitiu gerar soluções mais flexíveis em termos de custo final a variedade de utilização. Descrevemos separadamente a metodologia empregada em cada uma das soluções.

Para a solução comercial foram inicialmente pesquisados equipamentos disponíveis e softwares que pudessem se integrar aos equipamentos PLC que seriam utilizados no projeto. Foram adquiridos módulos de aquisição de dados que permitem a coleta de múltiplas entradas de dados e podem ser ligados em rede (RS485) enviando estes dados em distâncias de até 1500m. Estes módulos foram conectados a módulos de conversão de rede RS485 para rede Ethernet, permitindo criar uma nova rede de aquisição de dados para cada novo módulo de conversão. Através dos equipamentos PLC os dados chegam a um sistema supervisor de uso comercial, que endereça módulos de conversão a partir de seu número IP e através dele a rede de coleta de dados. O sistema assim configurado foi utilizado para coletar dados em uma estação de tratamento de esgotos, da forma usual como é feito em sistemas de automação industrial.

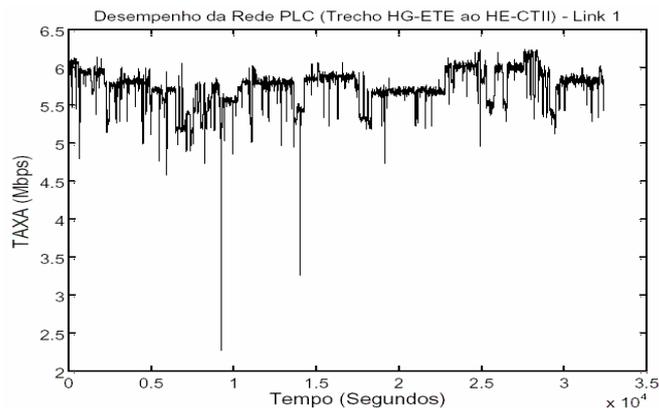


FIGURA 3 - Comportamento da taxa de transmissão durante 10 horas entre o CT-II e a ETE.

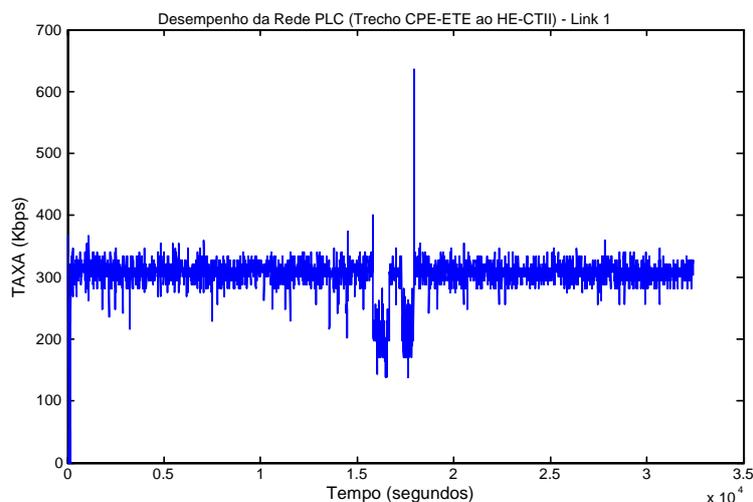


FIGURA 4 - Comportamento da taxa durante 10 horas. Teste do trecho entre o PLCCLab e uma tomada interna a ETE.

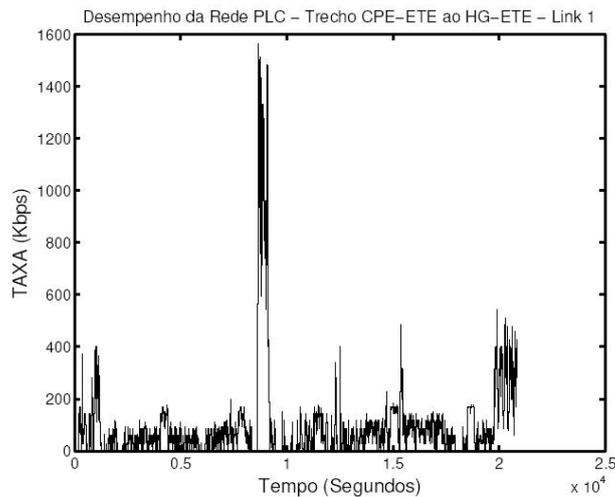


FIGURA 5- Comportamento da taxa de transmissão no período de 10 horas entre a tomada interna ETE até a entrada de energia.

Na segunda solução, foram desenvolvidos equipamentos para a aquisição de dados e seu envio através dos equipamentos PLC. O módulo de aquisição de dados é baseado em um microcontrolador PIC16F876 que se comunica via protocolo Modbus sobre uma rede RS485. Estes módulos possuem um total de 32 sinais de entrada/saída que podem ser utilizados para comunicação e aquisição de dados. A interface destes módulos com os equipamentos PLC foi realizada através de um módulo para conversão de protocolo RS232 para protocolo TCP/IP. A partir de um módulo de desenvolvimento, o IIM7100, contendo um chip que faz a conversão de protocolo, novos circuitos foram adicionados para compatibilizar os sinais elétricos e converter o padrão RS232 para o padrão RS485 utilizado pelos módulos de aquisição de dados. Um software específico foi utilizado, o qual permite a fácil inclusão de novas redes de aquisição de dados, que são salvos em um banco de dados e disponibilizados via navegador para a internet. Tal sistema foi desenvolvido e configurado, e dados da estação de tratamento de esgotos foram através dele monitorados e disponibilizados.

#### 3.1.1 – Resultados alcançados

Para aquisição de dados, na primeira solução implementada, foi utilizado o módulo ICPCON-7018 que possui 8 entradas analógicas e disponibiliza os dados via RS485. No PC servidor foi instalado o software Elipse Scada, com um driver para acesso a este módulo.

Uma vez estabelecida a configuração dos equipamentos conforme acima, basta apenas elaborar as telas do sistema supervisor e configurá-lo para adquirir os dados, armazená-los e mostrá-los em telas adequadas.

As medições efetuadas, para fins de exemplo, foram a acidez (Ph) em um reator anaeróbio e as operações de liga/desliga do compressor de aeração. Tais dados podem ser mostrados das formas usuais, através de listas, gráficos históricos ou valor atual.

Na segunda solução proposta, a aquisição de dados é feita através de um módulo microcontrolado baseado no microcontrolador PIC16F876.

Esta solução executa as mesmas funções que a solução já descrita, porém, por ser um sistema aberto, tem-se uma maior flexibilidade para seu uso. O módulo microcontrolado permite adquirir os dados, processá-los e gerar saídas para acionamento de dispositivos. Comandos do PC servidor também podem acionar saídas do mesmo.

## 4.0 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM

Uma vez que todo o procedimento é realizado por qualquer navegador de WEB, o usuário comum possui acesso às imagens apenas e, um usuário privilegiado (administrador), possui acesso completo sobre todos os seus parâmetros, desde o brilho da imagem, taxa de compressão, texto informativo, detecção de movimento, configurações da rede, dispositivos de E/S, troca de senha, etc.

### 4.1 – Resultado alcançado

Simulou-se um movimento pela introdução de um objeto (livro) em uma imagem parada o qual se deseja avaliar o movimento. A figura 6 (próxima página) ilustra a situação onde se observa imagem com o objeto e imagem sem o objeto. Utilizou-se resolução de 352x240 pixels e com média taxa de compressão. Para as taxas apresentadas pelo sistema PLCC empregado, o desempenho da câmara como monitoramento atendeu às expectativas. Mesmo trabalhando-se com a câmara configurada para imagens com resolução de 704x480 pixels e com baixa taxa de compressão o sistema câmara/PLCC conseguiu ser satisfatório. Já para a situação de vigilância, o modo 704x480 pixels e com baixa taxa de compressão apresentou uma latência considerável, havendo perda de desempenho na detecção de movimentos rápidos (pessoa correndo na cena numa extensão de 10 mts). A solução foi aumentar a taxa de compressão para um valor intermediário pré-definido pela câmara e reduzir a resolução (valores de

compressão alto e muito alto são muito danosos para a visualização e processamento da imagem). Para detecção de movimento em locais abertos, e aplicada à vigilância, não se recomenda que a região alvo a qual se deseja monitorar esteja muito distante da câmara. Regiões muito distantes, uma vez cruzadas por intrusos, podem gerar pouco movimento devido à distância câmara-alvo e a projeção em perspectiva da câmara.

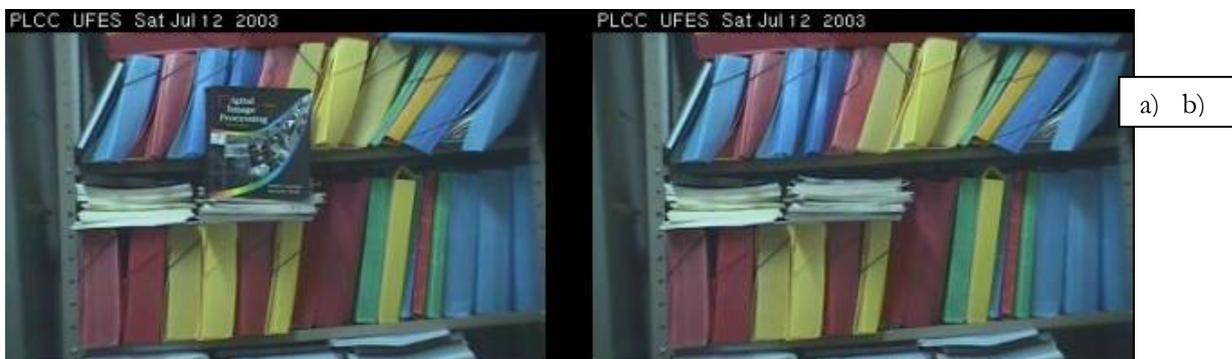


FIGURA 6 - Imagens de pastas plásticas. Em (a) imagem com objeto e em (b) imagem sem objeto.

## 5.0 - TESTES FÍSICOS REALIZADOS SOBRE DIFERENTES TIPOS DE CARGA

A realização de testes de desempenho em um ambiente ruidoso, como o da ETE, foi de extrema importância para análise da capacidade do sistema PLC em transmitir dados. A presença de equipamentos como inversores de frequência, lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos, motores de indução, bombas peristálticas, bombas submersas e compressores de ar com motor de indução trifásica de alta potência foi a motivação para estudar o efeito que algumas cargas causam na potência do sinal PLC.

O HE injeta sinal na rede de testes, no link 1 que vai de 0 a 10 MHz e, em uma das salas que continham tomadas dessa rede controlada, ligou-se o equipamento em teste. Na sala mais próxima com tomadas da rede (aproximadamente a 20 metros de distância entre a tomada onde estavam as cargas e de onde foram feitas as medidas) colocou-se um CPE e via o programa **telnet** acessava-se o HE para leitura da taxa de transmissão e recepção física do sinal.

A medição da taxa física foi feita em cima da análise de um programa contido no próprio HE, o qual fornece a taxa de transmissão e recepção, através da leitura da quantidade de bits por sub-portadora alocada na faixa de frequência disponível e configurada pelo HE.

A seguir apresentamos os testes realizados em alguns tipos de cargas comuns à todas as instalações elétricas. Em cada medição, foram avaliadas as taxas de transmissão (TX) e recepção (RX). A taxa de TX é a taxa de *upload* do HE ao CPE. Já a taxa RX se refere à recepção de dados do HE por parte do CPE. O link testado foi o Link 1, cuja faixa de frequência se estende de 1 a 10 MHz, sendo a faixa de 1 a 4 MHz correspondente à faixa de *upload* do HE e a faixa de 4 a 10 MHz a de *download*.

### 5.1- Motores monofásicos

Usou-se um ventilador para analisar um motor sem escova, e um liquidificador para estudar o comportamento de um motor com escova. Com o liquidificador ligado na fase A e o ventilador na B, as taxas físicas de *download* e *upload* alcançadas foram  $T_x = 1,4 \text{ Mbps}$  e  $3 \text{ Mbps} < R_x < 4 \text{ Mbps}$  respectivamente.

Uma importante observação encontrada foi a da existência de acoplamento de sinal de uma fase para a outra, a partir da medição da taxa de *download* em uma sala situada a aproximadamente 150 metros de distância. A taxa aumentou para  $T_x = 4,5 \text{ Mbps}$ . Com o ventilador desligado a taxa aumentou para  $T_x = 7,8 \text{ Mbps}$ .

### 5.2 - Reatores eletrônicos

Uma lâmpada fluorescente com reator eletrônico foi utilizada para verificação da influência de tais reatores. À configuração usada para análise de motores foi adicionado uma lâmpada fluorescente na fase A. A taxa de *download* diminuiu para  $T_x = 890 \text{ KHz}$ , e a de *upload* se manteve. Em uma fase diferente, confirmando o acoplamento de sinal, a taxa  $T_x$  aumentou para 5 Mbps.

### 5.3 - Comandos elétricos

Foi construído um quadro de comandos, para fins de análise da influência que determinados dispositivos de comandos elétricos possam causar no sistema. Foi testado portanto os efeitos causados por medidores de consumo de energia, disjuntores, contadores, relés, e em separado fuzíveis NH. Individualmente a influência foi ínfima, daí está reportado aqui apenas o efeito causado pela junção de todos os equipamentos.

O nível de sinal praticamente não se altera quando esses dispositivos de proteção estão no circuito, porém como foi constatado que o faiscamento de motores com escovas causam perturbação nessa faixa de frequência, a atuação de contadores, por exemplo, podem causar uma interferência em um intervalo de tempo pequeno devido ao repique dos contatos.

### 5.4 - Fontes chaveadas

A presença de fonte chaveadas sem filtros na rede causam sérios problemas ao sistema. Assim como cargas capacitivas também atenuam consideravelmente o sinal. Esse tipo de circuito tem se tornado bastante comum em carregadores de celular, fontes de computadores, equipamentos de rede ethernet como switches e hubs.

Foi feita uma medida da taxa de tx e rx de um modem conectado a rede sem nenhuma outra carga em paralelo e obteve-se Tx= 27,28 Mbps e Rx= 12,07 Mbps. Ao ligar um computador sem o Coupling Unit do modem, que funciona como um filtro para esse tipo de carga não interferir no sistema PLC, as respectivas taxas foram Tx= 22 Mbps e Rx= 0,9 Mbps o que leva a crer que este tipo de carga causa perturbações no sinal na faixa do espectro em que é alocado o rx, lembrando que os testes foram realizados com o HE trabalhando no link 1 que vai de 0 a 10 MHz.

#### 6.0 – TESTES REALIZADOS EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

Com o objetivo de obter uma medição em um ambiente residencial, sem controle do tipo de carga conectada à rede, foram realizados testes em um condomínio residencial.

O nível do sinal foi medido em alguns apartamentos e pontos da área comum do prédio. As leituras das medições foram feitas nos apartamentos 201 bloco A e B, 301 bloco A, 401 bloco A, portaria do bloco A e casa de máquinas do bloco B. Foi realizado também um teste de desempenho em nível de aplicação usando o programa **IPERF**, executado em um computador no modo servidor.

##### 6.1 – Resultados alcançados

As medidas realizadas dentro de alguns apartamentos foram limitadas pelo acesso da equipe no interior dos mesmos. Em geral, as medidas foram realizadas na cozinha próximo aos quadros de distribuição do apartamento. Alguns desses resultados podem ser observados na Tabela 1.

TABELA 1 – Medições realizadas no edifício Rossini.

Local	Taxa Física		Desempenho TCP/IP	
	TX (Mbps)	RX (Mbps)	Upload (Mbps)	Download (Mbps)
Portaria do Bloco A	16,00	2,80	1,02	3,74
Apto. 201, Bloco A	6,20	6,56	1,76	1,80
Apto. 301, Bloco A	8,20	9,37	2,97	2,47
Apto 401 A, Cozinha	17,20	2,80	0,96	3,19
Apto 401 A, Quarto	--	--	0,14	0,82
Apto 201, Bloco B	12,00	4,00	1,69	3,49
Casa de máquinas, Bloco B	0,89	3,00	--	--

#### 7.0 – TESTES EM UMA SUBESTAÇÃO DE 34,5 kV

Com o objetivo de analisar o desempenho do sistema PLC, foram propostos testes em uma Subestação de Energia, ambiente supostamente hostil para transmissão de dados. Apesar de ser uma subestação de alta voltagem (34,5KV), os testes foram realizados na rede de baixa tensão (110/220 V). O sinal foi acoplado pelo equipamento master HE (Head End) em duas das três fases sendo a terceira feita como referência, ou seja, através do esquema de ligação estrela. Nos testes de performance da camada física, utilizou-se de um programa contido no próprio equipamento master, o qual calcula a taxa de transmissão e recepção do HE através da leitura da quantidade de bits alocadas a cada subportadora do sistema. Em cada tomada de testes era colocado um modem CPE auxiliado por um filtro CU (Coupling Unit).

##### 7.1 - Resultados alcançados

###### 7.1.1 - Sala de comandos

Por ser o local onde se situa o barramento (onde o sinal PLC é acoplado) que alimenta toda a rede de baixa tensão da subestação, a sala de comandos foi definida como referência para as medidas. Em uma das tomadas internas à sala, as taxas física e TCP, conforme Tabela 2, foram extremamente boas.

Sala de Comandos	TX (Mbps)	RX (Mbps)
Faixa	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
Taxa Física	22.9	11.0
Desempenho do protocolo TPC/IP	7.0	8.1

TABELA 2 – Taxas físicas e TCP obtidas na sala de comandos

###### 7.1.2 - Tomada externa 2041

A tomada externa 2041 se localiza a menos de 50 metros do barramento principal. Essa tomada é utilizada para ligar os equipamentos de manutenção da subestação e em termos de resultados obtidos foi a pior tomada. As taxas física e TCP obtidas foram aceitáveis, conforme Tabela 3.

Sala de Comandos	TX (Mbps)	RX (Mbps)
Faixa	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
Taxa Física	11.5	7.2
Desempenho do protocolo TPC/IP	5.2	4.8

TABELA 3 – Taxas físicas e TCP obtidas na tomada externa 2041.

#### 7.1.3 - Tomada externa 2121

A tomada externa 2121 foi a tomada mais distante da sala de comandos testada, e localiza-se a mais de 50 metros do barramento principal. Essa tomada também é utilizada para ligar os equipamentos de manutenção da subestação. Apesar da distância as taxas física e TCP obtidas foram maiores que a tomada 2041 (que estava mais próxima), conforme mostra a Tabela 4.

Sala de Comandos	TX (Mbps)	RX (Mbps)
Faixa	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
Taxa Física	22.6	13.0
Desempenho do protocolo TPC/IP	9.7	6.9

TABELA 4 – Taxas físicas e TCP obtidas na tomada externa 2121.

#### 7.1.4 - Tomada externa 3027

A tomada externa 3027 foi a tomada testada que se localizava mais próximo da sala de comandos, cerca de 30 metros do barramento principal. As taxas física e TCP obtidas foram bem altas. Observe a Tabela 5.

Sala de Comandos	TX (Mbps)	RX (Mbps)
Faixa	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
Taxa Física	25.9	11.9
Desempenho do protocolo TPC/IP	8.3	7.6

TABELA 5 – Taxas físicas e TCP obtidas na tomada externa 3027.

## 8.0 – CONCLUSÃO

Foram escolhidos como pontos de medida alguns locais considerados críticos e estratégicos.

Dentre as tecnologias existentes certificou-se que utilizar a modulação OFDM é uma das melhores soluções para combater os ruídos impulsivos do canal PLC provocados por múltiplos percursos, radiodifusão, reflexão, chaveamento, bancos de capacitores, etc. Devido a sua robustez, a modulação OFDM garante a confiabilidade na transmissão via rede elétrica.

A implementação de telemetria funciona adequadamente, mesmo em ambientes muito ruidosos, como é o caso da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal do Espírito Santo.

Com os sinais acoplados adequadamente à rede elétrica, verificou-se excelentes níveis de qualidade das informações transmitidas, seja a nível de download, imagem ou telemetria, assim como, altas taxas de transmissão, muitas delas superiores à 1 Mbps.

A utilização destas soluções para aquisição de dados via rede elétrica envolve a instalação do HE em um ponto antes de um transformador para coletar as informações enviadas pelos CPEs, distribuídos pelas redes de distribuição. Cada CPE pode coletar informações de pontos próximos via rede RS485. As informações chegam ao PC servidor via fibra óptica, por exemplo. A integração do CPE ao sistema de coleta poderia representar uma redução significativa no custo de tal sistema.

## 9.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Relatório Final de Projeto de P&D - Desenvolvimento e Análise de um Sistema de Transporte de Informações Através da Rede de Distribuição de Energia Elétrica da ESCELSA Utilizando a Tecnologia PLC Power Line Communications; julho 2003