



**VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇOS DE TELEVISÃO
E INTERNET UTILIZANDO A TECNOLOGIA HPNA**

**CURITIBA
2011**



ROBERT CHRISTIAN MORITZ CANTARUTTI JUNIOR

FELIPE SILVEIRA GRECO

**VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇOS DE TELEVISÃO
E INTERNET UTILIZANDO A TECNOLOGIA HPNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação MBA em Telecomunicações, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Telecomunicações.

Orientador: José Ricardo Benazzi, Esp.

CURITIBA
2011

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradecemos ao nosso orientador Benazzi,
pelas críticas e ensinamentos,
mas, além disso, somos muito gratos pelas conversas
que despertaram em nós, o interesse por desafios e
sobretudo, por um tema considerável e inovador.

Agradecemos também aos amigos,
que foram fundamentais para esta conquista.

Robert e Felipe

Agradeço à minha família em especial à minha amável Elena
pelos desafios vencidos juntos, incentivos e companheirismo.
Pelas ótimas ideias e motivação em cada minuto ao seu lado.

Robert

Agradeço à minha família e à Ju, pelo companheirismo, apoio e
pelos momentos de descontração.

Felipe

"O homem não é nada além daquilo que a educação faz dele."

(Immanuel Kant)

"O homem é tão bom quanto seu desenvolvimento tecnológico o
permite ser."

(George Orwell)

FOLHA DE APROVAÇÃO

VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇOS DE TELEVISÃO E INTERNET UTILIZANDO A TECNOLOGIA HPNA

Por

ROBERT CHRISTIAN MORITZ CANTARUTTI JUNIOR

FELIPE SILVEIRA GRECO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM TELECOMUNICAÇÕES,
DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) ____ de _____ de _____.

José Ricardo Benazzi, Esp

Gianfranco Muncinelli, M.Sc.

Marco Aurélio Bonato, Dr

RESUMO

O presente trabalho avalia a viabilidade da implementação de serviços de internet e televisão em ambientes domésticos utilizando a tecnologia HPNA. Esta verificação é realizada através de testes comparativos de desempenho entre tecnologias (HPNA, wireless, PLC e ethernet), entre outros parâmetros de comparação predefinidos. São realizadas avaliações técnicas e econômicas para indicar qual a tecnologia de rede doméstica mais indicada, no cenário brasileiro, para transmitir os serviços de internet e televisão em ambientes domésticos.

Palavras chave: HPNA, Wireless, PLC, Ethernet, HomeNetwork

ABSTRACT

This study evaluates the feasibility of implementing internet and television services in home environments using HPNA technology. This evaluation is performed through comparative tests of performance between technologies (HPNA, wireless, Ethernet and PLC), among other predefined benchmarks. Using technical and economic evaluations the goal is to indicate which home networking technology will best suited, in the Brazilian scenario, to transmit the television and internet services in home environments.

Key words: HPNA, Wireless, PLC, Ethernet, HomeNetwork

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modos de banda HPNA v3.1 . Fonte: HomePNA.org.....	10
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recomendações (normas e padrões).	9
Tabela 2 - Avaliação HPNA.....	17
Tabela 3 - Avaliação Wireless .11n.....	17
Tabela 4 - Avaliação Power Line Communication (PLC)	17
Tabela 5 - Avaliação Ethernet Cat 5.....	18
Tabela 6 - Teste de Capacidade HPNA.....	18

TABELA DE ACRÔNIMOS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	Access Point
ATA	Analogue Terminal Adapter
ATF	Architecture Task Force of HGI
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CBR	Constant Bit Rate
CE	Consumer Electronics
CPE	Customer Premises Equipment
CWMP	CPE WAN Management Protocol
DA	Destination Address
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DMZ	De-Militarised Zone
DNS	Domain Name System
DSL	Digital Subscriber Line
DTH	Directo To Home
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
FTTB	Fibre To The Building/Business
FTTCab	Fibre To The Cabinet
FTTH	Fibre to the Home
HG	Home Gateway
HGI	Home Gateway Initiative
HN	Home Network
HPNA	HomePNA alliance (Home Phoneline Networking Alliance)
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication standardisation sector
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MPEG	Moving Picture Expert Group
PVC	Permanent Virtual Connection
PVR	Personal Video Recorder
QoS	Quality of Service
SSID	Service Set Identifier
STB	Set Top Box
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VLAN	Virtual Local Area Network
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over IP
WAN	Wide Area Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wireless Protected Access

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
FOLHA DE APROVAÇÃO	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	viii
TABELA DE ACRÔNIMOS	ix
SUMÁRIO.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo Geral	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. HIPÓTESE	3
1.4. JUSTIFICATIVAS	3
1.4.1. Tecnológicas.....	3
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO	5
2.1.1. REDES IP, ETHERNET	5
2.1.2. Transmissão.....	6
2.1.3. HPNA – Home Phoneline Network Alliance.....	8
2.1.4. PLC.....	11
2.1.5. Wireless 802.11n.....	12
3. ESTUDO DE CASO OU PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	12
3.1. Testes de Desempenho	13
3.2. Topologias de Rede Comparadas.....	15
3.2.1. Topologia HPNA.....	15

3.2.2. Topologia Wireless	15
3.2.3. Cabo UTP	16
3.2.4. Tecnologia PLC.....	16
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	16
4.1. CAPACIDADE	18
4.2. CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	20
4.3. FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	21
4.4. COMPATIBILIDADE COM PADRÕES	22
4.5. ÁREA DE COBERTURA	22
4.6. INSTALAÇÃO PELO USUÁRIO	22
4.7. SEGURANÇA	23
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	24
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho será realizada uma comparação entre tecnologias de redes domésticas (*Home Network* – Rede Doméstica) com intuito de mostrar qual seria mais indicada, ou viável, a ser implementada em ambiente doméstico definido, para oferecer serviços de televisão e internet ao usuário.

Deve-se considerar durante as comparações, as tendências de mercado e características dos usuários dos serviços de televisão paga e internet. Pode-se observar uma tendência muito grande, ou até dizer que isto já é uma realidade nos dias de hoje, na necessidade do usuário dos serviços de televisão em poder interagir com o conteúdo transmitido, além de existir uma crescente demanda por conteúdos em alta definição, e até em 3D.

Tudo isto implica em cada vez mais dados trafegando na rede, o que significa desenvolver e implementar redes de serviços cada vez mais convergentes e de alta performance, tanto em *backbone* como nas redes internas do usuário.

Parâmetros como capacidade de transmissão, facilidade de instalação e custo de implementação, entre outros, devem ser considerados ao se comparar e verificar a viabilidade de implementação de tecnologias sob uma determinada condição. A capacidade de transmissão é um ponto crucial nesta questão, considerando as tendências de mercado e perfil dos usuários dos serviços de televisão e internet. A demanda por conteúdo de alta definição (HD – *High Definition*), e interatividade com todos os outros são os principais fatores responsáveis pela necessidade de prover redes cada vez mais convergentes e de alta performance, dentro e fora do ambiente do assinante.

Considerando apenas as redes internas do usuário, neste trabalho parte-se da hipótese de que a tecnologia HPNA (*Home Phoneline Network Alliance*), que consiste em prover infraestrutura de redes internas com a

utilização de pares trançados de telefone ou cabo coaxial (no caso de uso de coaxial pode-se chamar de HCNA. Preferimos manter o termo utilizado pelo mercado que é HPNA mesmo sob cabo coaxial), seria a alternativa mais interessante para prover os referidos serviços ao usuário. Serão comparadas à tecnologia HPNA as tecnologias ethernet (utilizando cabo UTP categoria 5E), wireless e PLC (*Power Line Communication* – Comunicação sobre linhas de força), considerando os parâmetros comentados (capacidade de transmissão, facilidade de instalação e viabilidade de implementação), entre outros.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A utilização da tecnologia HPNA é o mais adequado para prover serviços de televisão e internet para ambientes domésticos?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Comparar o desempenho das tecnologias HPNA, wireless e PLC a fim de avaliar qual destas é a mais viável técnica e economicamente para prover serviços de internet e televisão ao usuário em ambiente doméstico.

1.2.2. Objetivos Específicos

Comparar desempenho das tecnologias HPNA, wireless, PLC e UTP (capacidade/largura de banda) em um cenário definido e confinado, além de comparar custo de implementação entre as tecnologias em questão e avaliar

analiticamente e comparar entre as mesmas: facilidade de instalação, segurança, compatibilidade com padrões pré existentes e área de cobertura.

1.3. HIPÓTESE

A tecnologia HPNA, comparada às tecnologias wireless, cabo UTP e PLC, seria a indicada para ser utilizada em uma rede doméstica para prover serviços de televisão e internet se considerados aspectos econômicos e técnicos.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas tecnológicas do trabalho.

1.4.1. Tecnológicas

Atualmente existem inúmeras soluções para **Home Network** a fim de suprir as necessidades de mercado. Este trabalho expande o campo de soluções para Home Network, mostrando a viabilidade de implementação e distribuição de vídeo e internet, para consumidores residenciais utilizando a tecnologia HPNA.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como parâmetros de análise e comparação entre tecnologias foram considerados os pontos descritos a seguir.

a) Capacidade/Largura de banda

A largura de banda da rede doméstica deve ser suficiente para suportar picos de tráfego de TV, além de outros tipos de tráfego via IP (VoIP,

Media Servers, VoD). Devemos prever taxas de transmissão de 200Mbps ou maior.

b) Custo de desenvolvimento

O custo de Hardware é apenas um fator componente do custo total de desenvolvimento. Deve-se incluir o custo de adaptadores externos, pontos de acesso, tempo dispendido para instalação/adaptação da rede doméstica.

c) Facilidade de Instalação

A facilidade de instalação afeta diretamente o número de clientes servidos por dia. A satisfação do cliente aumenta conforme o serviço de instalação se torna mais ágil.

d) Compatibilidade com padrões

A competitividade no mercado está diretamente relacionada a este item. Tecnologias compatíveis a padrões já existentes diminuem custo de implementação das tecnologias, uma vez que os fornecedores disponibilizarão uma oferta maior de equipamentos compatíveis.

e) Área de cobertura

Tecnologias que possibilitem atender um número maior de cômodos de uma residência têm vantagem competitiva, uma vez que o usuário poderá expandir seus pontos de acesso facilmente pela residência.

f) Instalação feita pelo Usuário

Técnicos serão necessários para instalação inicial. Porém, algumas soluções permitem que o usuário instale seus pontos adicionais facilmente, sem auxílio técnico especializado.

g) Segurança

Assinantes irão preferir sistemas de rede que permitam restrição a acesso de dados conforme suas necessidades.

Usaremos então os critérios acima para avaliar as tecnologias citadas a seguir:

- Ethernet (Cat-5): IEEE 802.3
- HPNA v3.1
- PLC: HomePlug A/V
- Wireless: IEEE 802.11n

A escala para avaliação seguirá o seguinte padrão:

1= Não atende ao critério

2= Atende a alguns critérios

3= Atende a todos critérios

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO

2.1.1. REDES IP, ETHERNET

Falando-se de serviços de internet e TV, considerando as aplicações interativas que se pode oferecer sobre esta plataforma, é importante compreender os princípios básicos do protocolo de internet. Além da visão geral sobre IP, precisa-se uma breve visão sobre a Ethernet, que é a tecnologia de rede comumente usada para transportar o protocolo de internet.

O IP fornece um esquema de endereçamento uniforme, em que cada computador de uma dada rede pode se comunicar com computadores de outra rede distante. Ele também oferece um conjunto de funções as quais facilitam que várias aplicações (como e-mail, navegadores e transmissão de vídeo), trabalhem em paralelo em um mesmo computador. Além disto, o IP permite que computadores com diferentes sistemas operacionais conversem entre si. O IP é muito flexível, pois não é amarrado a qualquer método de comunicação física, e por isso já obteve sucesso com diferentes tipos de tecnologias físicas.

Uma tecnologia muito popular para transportar o IP é a Ethernet (IEEE 802.3), que é um dos sistemas de rede física mais difundida e usada para o tráfego IP. Porém muitas outras tecnologias podem suportar IP, incluindo modem de discagem (dial-up), links wireless (como Wi-Fi) e circuitos SONET e ATM.

Dentro da operadora de TV que ofereça serviços interativos pela internet, normalmente o IP trabalha sobre uma rede híbrida, onde existe uma grande variedade de tecnologias de rede, como enlaces de acesso wireless residencial que conecta o sistema de vídeo sob demanda, e que em sequência envia os dados do usuário para o servidor de vídeo por meio de um *backbone* de

fibra ótica. Esta adaptabilidade é um dos fatores que fazem com que o IP seja tão utilizado e difundido.

Assim, quando se deseja transmitir dados, como um vídeo compactado em MPEG, o protocolo IP encarrega-se de identificar o endereço IP de origem e de destino destes dados, e os transmite através de uma tecnologia de rede, como o Ethernet.

2.1.2. Transmissão

Existem alguns tipos de problemas que acarretam falhas, e que são facilmente identificáveis (como falha geral de energia, corte de cabos ou falha de equipamentos), mas existem também outras falhas sutis. Embora estas últimas não sejam tão dramáticas quanto a falhas de energia que afetam milhões de pessoas, são elas que podem significar a diferença entre o sucesso e o insucesso de uma rede de transmissão de vídeo.

Uma destas falhas pode acontecer em um ponto de convergência da rede IP, o roteador IP. Na arquitetura de transmissão IP o roteador trabalha direcionando os pacotes entre a origem e destino do pacote IP, juntamente com seus dados, para que cheguem corretamente aos seus destinos, e isto implica que ele trabalha com diversas redes e computadores simultaneamente. Assim como o roteador, o meio de transmissão também possui um limite, e se este limite é atingido ou está próximo da capacidade, podem acontecer perdas e atrasos.

O tráfego de vídeo tem comportamento variável (chamado de VBR, *variable bit rate*). A chegada de muitas requisições de vídeo desta forma, sujeita o tráfego à perda, atraso e *jitter*, afetando a QoE (*Quality of Experience*) percebida pelo usuário.

Imaginando um enlace de 10Mbps e um vídeo que com fluxo médio de 1Mbps, pode-se pensar, embora erroneamente, que se poderia trafegar 10 fluxos ao mesmo tempo. Mas qualquer variação nestes fluxos, como ocorre nos

vídeos com taxa variável de bits (VBR), pode acarretar em perdas de pacotes que serão percebidas pelo usuário de diversas formas. Além disso, normalmente os fluxos não são requisitados ao mesmo tempo. É importante saber quantos fluxos poderiam ser alocados, ou admitidos, de forma a preservar certo nível de QoE.

2.1.2.1. Perdas de pacotes

Um pacote é declarado perdido quando ele não chega ao destino pretendido. Isto pode acontecer por uma série de circunstâncias, como por um simples erro em um bit dentro do endereço IP, ou por falha na configuração de rede, que envia pacotes para um destino errado. Face a isto, pacotes são ocasionalmente perdidos em essencialmente todas as redes IP.

Conforme comentado anteriormente, os pacotes também podem ser perdidos quando a rede fica saturada com tráfego. Os roteadores IP possuem mecanismos de descarte de pacotes quando ocorrem mais chegadas que saídas de dados em um segmento de rede. Assim que o tráfego cresce, o *buffer* do roteador é totalmente preenchido, e cada vez mais dados são perdidos. Quando se constrói e configura-se uma rede para transmissão de vídeo, é importante ter certeza de que haverá banda suficiente para levar o vídeo do início ao fim da rede para minimizar as perdas de pacotes, ou empregar meios, como é o objetivo deste trabalho, para que, dado uma banda fixa, o sistema admita ou rejeite requisições de vídeo, e que assim que não haja estas perdas. Note que estas perdas sempre afetarão a QoE percebida pelo usuário de diferentes níveis.

2.1.2.2. Atraso

O atraso é inerente a toda rede, seja na comunicação entre um *tablet* e um *notebook*, ou entre servidores de internet no mundo. Existem basicamente dois tipos de atraso: de propagação e de roteamento.

O atraso de propagação é o tempo que uma informação leva para chegar de um local a outro. A velocidade da luz é o limite absoluto de rapidez com que esta informação pode chegar.

O atraso de roteamento ocorre no ponto da rede onde o sinal precisa ser redirecionado, amplificado ou transformado (de forma ótica para elétrica por exemplo) O atraso interno de um roteador não é fácil de calcular pois depende de muitos fatores, como o número total de pacotes que o roteador está processando, a presença de outros pacotes com prioridades mais altas, congestionamento, ou mesmo o próprio tempo de processamento do roteador. A quantidade de tempo que um pacote leva para “atravessar” um roteador é afetada pela fila em que ele é colocado, e quantos pacotes existem na frente deste pacote nesta fila.

2.1.2.3. Jitter

O jitter é uma medida de variação no tempo de chegada de pacotes de dados. Idealmente, se o jitter é nulo, significa que o intervalo de chegada dos pacotes é constante, por exemplo, a cada 5ms.

Para dados como e-mail ou transferência de arquivos, o jitter não tem muito impacto. Todavia, para dados em tempo real, como em IPTV, VoIP (Voz sob IP), o tempo é muito importante. Jitter excessivo gera perdas significativas na QoE percebida pelo usuário.

2.1.3. HPNA – Home Phoneline Network Alliance

O termo HPNA remete a uma associação de companhias sem fins lucrativos de companhias que desenvolve e padroniza tecnologias para redes locais domésticas que utilizem como meios de transmissão cabos coaxiais ou fiação telefônica.

Seguem na tabela 1 abaixo algumas das recomendações da ITU-T com relação a estas tecnologias:

ITU-T Home networking Recommendations	
Common Name	Recommendations
HomePNA 2.0	G.9951, G.9952, G.9953
HomePNA 3.0	G.9954 (02/05)
HomePNA 3.1	G.9954 (01/07)
G.hn/HomeGrid	G.9960, G.9961
G.cx	G.9972
G.hnta	G.9970

Tabela 1 - Recomendações (normas e padrões).
Fonte: ITU-T

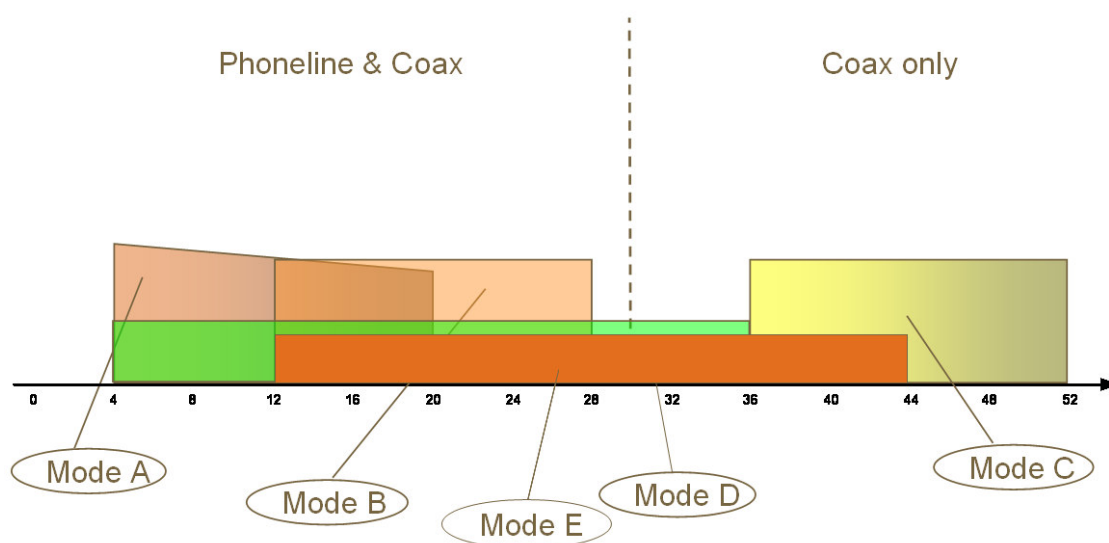
A recomendação G9954 (HPNA 3.1) corresponde à tecnologia HCNA, como dito anteriormente que a qual se refere à mesma que HPNA, porém usando cabo coaxial ao invés de linha telefônica comum. Esta tecnologia foi desenvolvida com intuito de aumentar a capacidade da rede doméstica, sobrepondo algumas limitações que o cabo telefônico pode vir a trazer.

Seguem algumas limitações e características para alguns dos padrões citados na tabela 1:

- (a) HPNA 1.0: Limita-se a uma taxa de transmissão de 1Mbps e distância máxima de transmissão de 150m, mantendo esta taxa. A banda utilizada é 5.5MHz a 9.5MHz;
- (b) HPNA 2.0: Limita-se a uma taxa de transmissão de 10Mbps e distância máxima de transmissão de 300m, mantendo esta taxa. A banda utilizada é 4 MHz a 10MHz;
- (c) HPNA 3.0: Limita-se a uma taxa de transmissão de 240Mbps e distância máxima de transmissão de 300m, mantendo esta taxa.

Oferece Media Access Control (MAC), QoS (Quality of Service) e ECN (Early Congestion Notification);

- (d) HPNA 3.1: Limita-se a uma taxa de transmissão de 320Mbps e distância máxima de transmissão de 300m, mantendo esta taxa. Coexiste com linha telefônica convencional, ADSL e ADSL2+. Nesta versão existem cinco modos de espectro, conforme mostra figura 01:



Note: Band E : 12-44 MHz

Figura 1 - Modos de banda HPNA v3.1 . Fonte: HomePNA.org

A (4MHz-20MHz): 2, 4, 8, 16 MBaud (4Mbps-160Mbps)

B (12-28MHz): 2, 4, 8, 16 MBaud (4Mbps-160Mbps)

C (36-52MHz): 2, 4, 8, 16 MBaud (4Mbps-160Mbps)

D (4-36MHz): 2, 4, 8, 16, 32 Mbaud (4Mbps-320Mbps)

E (12-44MHz): 2, 4, 8, 16, 32 Mbaud (4Mbps-320Mbps)

O HPNA v3.1 é o primeiro padrão criado para a nova geração de *Home Network*, que exige alta performance consistente em todo ambiente residencial. Este tipo de tecnologia, que provê características avançadas como controle de QoS tem sido usado atualmente pela maioria de empresas que oferecem serviços *Triple Play* (voz, vídeo e dados). Um dos motivos da escolha deste padrão é a possibilidade de coexistência destes sinais distintos devido à operação dos mesmos em frequências diferentes.

Para o funcionamento da tecnologia nas condições nominais especificadas é importante que os equipamentos utilizados sejam certificados pela HomePNA.

2.1.4. PLC

O PLC é a tecnologia que permite a possibilidade de trafegar sinais de dados pela rede elétrica. Como os cabos elétricos já são internos, e seu acabamento é previsto já na obra civil, elimina o inconveniente de cabos aparentes pela residência, ou a instalação de novos cabos nos dutos internos de fiação, os quais geralmente já encontram-se congestionados. O ponto de dados pode estar longe do ponto de inserção de dados da home network, uma vez que qualquer tomada elétrica transformar-se num ponto de dados, e que os equipamentos atuais de modem e home-gateway necessitam alimentação de energia elétrica.

O problema do PLC é a falta de padronização. Há diversos padrões tanto para rede interna quanto externa, o que restringe o uso à alguns fabricantes, e acaba não sendo alvo de um desenvolvimento maior em nível global. Outro ponto é que a instalação da rede elétrica do usuário, comporta-se muitas vezes como uma antena inserindo muito ruído na rede, dificultando e muitas vezes impossibilitando o fluxo de dados através da fiação elétrica. Testes demonstraram alta susceptibilidade a ruído, especialmente em cenários como edifícios; devido aos harmônicos induzidos na rede por dispositivos muito indutivos como os motores de elevador, além da dificuldade de tráfego de sinal em circuitos elétricos diferentes, e impossibilidade de tráfego de sinal em fases diferentes na mesma residência. Testes em laboratório demonstraram também menor taxa de sinal de dados em relação ao HPNA para uma mesma distância de cabos.

2.1.5. Wireless 802.11n

A tecnologia wireless de transmissão, que permite a comunicação entre pontos sem o uso de fios, possui diversos padrões e os mais difundidos são os padrões 802.11g e o 802.11n. Como o padrão 802.11n foi desenvolvido com o objetivo de se obter um throughput maior para se transmitir vídeo, somente este padrão será considerado neste trabalho. Os computadores atuais e equipamentos de acesso já estão vindo com placas compatíveis com o padrão 802.11n. As RFC são abertas para consulta por qualquer pessoa, e podem ser pesquisadas e implementadas por qualquer um. Talvez esta seja a razão pela qual esta tecnologia tenha obtido tanto sucesso e abrangência em tão pouco tempo.

Do ponto de vista de operação pode-se dizer que não é “plug’n play”, pois é necessário um certo nível de conhecimento para se configurar uma rede sem fio. Além disto há problemas que afetam o sinal, como paredes e mobília (que atenuam o sinal), além de outros dispositivos wireless (como telefone e forno microondas) que, pelo fato de utilizarem os mesmos canais de rádio frequência, acabam interferindo na comunicação de dados.

3. ESTUDO DE CASO OU PROGRAMA EXPERIMENTAL

Estudaremos nesta seção o cenário de implementação de rede doméstica para prover serviços de televisão e internet, sob as seguintes suposições:

- 1) A indústria de cabos no Brasil atingiu cobertura considerável de residências em regiões metropolitanas. Isto resulta em uso massivo de cabo coaxial e cabo de cobre na maioria das casas para as quais se pretende vender o produto;
- 2) Comparado o mercado americano, do ponto de vista de tipos de construções, no Brasil há uma predominância de uso de alvenaria, enquanto naquele o uso de madeira e *dry wall* é mais comum. Este fato torna o recabeamento de uma residência no Brasil mais caro e mais demorado. O uso de tecnologia wireless

também se torna mais dispendioso em construções do tipo alvenaria, sendo necessário o uso de roteadores e repetidores em maior número;

- 3) Para atender à demanda de serviços de televisão paga e internet, estamos tratando de atendimento a famílias de classe média e alta, no Brasil;
- 4) Considera-se que famílias de classe e média e alta possuem, ou já possuíram alguma vez, em suas residências serviços de televisão paga cabeada;

3.1. Testes de Desempenho

Para comparar o desempenho de tecnologias sob o ponto de vista do parâmetro “Capacidade/Largura de Banda” descrito acima foram realizados testes em laboratório, onde foi possível medir *jitter*, latência e *throughput* para cada tecnologia. Os testes para simulação foram realizados com auxílio do equipamento de simulação de geração de tráfego.

Utilizando as configurações do equipamento de teste especificadas, foram então realizados quatro testes, descritos a seguir:

Teste 1 – Medida de Jitter e Latência

Foram simulados três fluxos full–duplex, sendo um de vídeo e dois de VoIP, visando observar o impacto na latência e jitter na presença de fluxos VoIP e vídeo num mesmo canal.

Como cada fluxo de dados é unidirecional, durante este teste foram utilizados 6 fluxos de dados. Dois para simular o sinal de vídeo e quatro para simular o VoIP (simulando duas linhas telefônicas).

Para vídeo, adotaram-se os seguintes valores de frames: 64 bytes, 128 bytes, 256 bytes, 512 bytes, 1024 bytes, 1370 bytes e 1518 bytes, transmitidos em UDP. Para estes frames foi variada a banda, a partir de aproximadamente 10Mbps até 100Mbps. O tamanho do frame VoIP era fixo e dependente do codec utilizado (78 bytes).

Teste 2 – Medida de *Throughput* com VoIP

Foram simulados três fluxos full-duplex, sendo um de vídeo e dois de VoIP, visando observar o *throughput* de vídeo, quando coexistindo com tráfego VoIP.

Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de frames: 64 bytes, 128 bytes, 256 bytes, 512 bytes, 1024 bytes, 1370 bytes e 1518 bytes, transmitidos em UDP. Da mesma forma que o primeiro teste realizado, os frames eram fixados e a banda variada até que fosse verificado incidência zero de *packetloss*. O tamanho do frame VoIP era fixo e dependente do codec utilizado (78 bytes).

Teste 3 – Medida de *Throughput* de Vídeo Full Duplex

Foi simulado um fluxo full-duplex de vídeo, visando monitoração do *throughput* quando houver apenas fluxo de vídeo no canal.

Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de frames: 64 bytes, 128 bytes, 256 bytes, 512 bytes, 1024 bytes, 1370 bytes e 1518 bytes, transmitidos em UDP. Para estes pacotes foi variada a banda, a partir de aproximadamente 10Mbps até 100Mbps, sendo utilizado dois fluxos de dados de mesma banda para o teste.

Mantendo-se constante o tamanho do frame, a carga era variada até a incidência de erros, quando então mudava-se o tamanho do frame e repetia-se o teste.

Teste 4 – Medida de *Throughput* Unicast de Vídeo

Foi simulado um fluxo unicast de vídeo, visando monitoração do *throughput* quando houver apenas um fluxo em único sentido

Pode ser considerado o caso que mais se aproxima da realidade de uso, havendo apenas um fluxo de dados na rede em uma única direção. Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de frames: 64 bytes, 128 bytes, 256 bytes, 512 bytes, 1024 bytes, 1370 bytes e 1518 bytes, transmitidos em UDP. Para estes frames foi variada a banda, a partir de aproximadamente 10Mbps até 100Mbps.

Mantendo-se constante o tamanho do frame, a banda era variada até a incidência de erros, quando então mudava-se o tamanho do frame e repetia-se o teste.

3.2. Topologias de Rede Comparadas

Para comparação das tecnologias consideraremos as soluções de topologia de rede para cada uma delas em um ambiente doméstico.

3.2.1. Topologia HPNA

A solução de topologia para a tecnologia HPNA permite a utilização de um único cabo coaxial para distribuição dos serviços de internet e televisão para os pontos de acesso da residência. No caso está sendo considerada a distribuição destes serviços para três pontos de acesso de internet e TV. Os sinais DTT, DTH e ADSL (internet) podem ser concentrados num *Homegateway*, a partir do qual todos os sinais podem coexistir num só cabo coaxial e serem distribuídos pela residência.

3.2.2. Topologia Wireless

Imaginando-se o mesmo cenário e utilizando-se a tecnologia wireless para distribuição dos sinais de televisão e internet, nesta solução teremos os sinais DTH e DTT seguindo aos pontos de acesso por cabo coaxial e o sinal ADSL/VDSL seria distribuído via wireless. A desvantagem que logo ficará evidente é a capacidade que um link 802.11n pode fornecer de transferência de

vídeo líquida, em caso de fornecimento de serviço de VoD, com fluxos de vídeo em alta definição.

3.2.3. Cabo UTP

Agora analisando o caso da utilização do cabo UTP na distribuição do sinal ADSL/VDSL, tem-se um cenário em que seria necessário levar um cabo UTP para cada ponto de acesso de dados, além dos pontos de televisão (*Setop Boxes*) para os quais se deve prover conectividade para interatividade, ou futuramente fluxo IPTV.

3.2.4. Tecnologia PLC

Para a tecnologia PLC, os pontos de acesso devem preferencialmente estar próximos aos pontos da rede de energia, além de estarem ligados à mesma fase a qual o Home Gateway a conectou à rede de dados.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram então avaliadas as tecnologias PLC, Wireless, HPNA v3.1 e UTP em função dos parâmetros citados na seção 1.5 (Procedimentos Metodológicos). Para cada quesito analisado foram estabelecidas notas variando de 1 a 3, conforme mostram tabelas 2, 3, 4 e 5.

HPNA v3.1		
Critério de Avaliação	Nota	Comentário
Capacidade	3	320Mbps para HPNA v3.1
Custo de Implementação	3	Há possibilidade de utilizar cabeamento existente na residência o que reduz o custo de instalação
Facilidade de Instalação	3	Considerando-se a reutilização de cabos coaxiais existentes a instalação é facilitada.
Compatibilidade com Padrões	3	ITU G9954 e padrões da Home Phoneline Network

		Alliance
Área de Cobertura	3	HPNA provém boa cobertura, considerando a preexistência de cabeamento coaxial nas residências
Instalação pelo Usuário	2	Não impede instalação por parte do usuário, porém primeira instalação (conectores bem feitos) depende de técnicos especializados e treinados.
Segurança	3	Isolamento do tráfego de vizinhos pode ser implementado com uso de filtros.

Tabela 2 - Avaliação HPNA

IEEE 802.11n (Wireless)		
Critério de Avaliação	Nota	Comentário
Capacidade	2	802.11n oferece taxas de transmissão na faixa de 60 a 100Mbps conforme a distância
Custo de Implementação	1	Em comparativo com as outras tecnologias apresenta o maior custo
Facilidade de Instalação	2	Relativo ao cat-5, fácil (considerando que não há necessidade de passar cabos), mas exige mão de obra especializada.
Compatibilidade com Padrões	3	Padrão IEEE
Área de Cobertura	2	Limitada, devido à possível existência de obstáculos
Instalação pelo Usuário	2	Configuração impõe certa complexidade ao usuário
Segurança	2	Sujeito à interferência

Tabela 3 - Avaliação Wireless .11n

PLC		
Critério de Avaliação	Nota	Comentário
Capacidade	2	Taxa de transmissão até 150Mbps
Custo de Implementação	2	Baixo custo chipset . Adaptadores externos com altos custos.
Facilidade de Instalação	3	Instalação fácil tanto para usuários quanto para técnicos.
Compatibilidade com Padrões	2	HomePlug Powerline Alliance garante compatibilidade, mas não existe padrão ITU (aberto).
Área de Cobertura	3	Limitado a locais com pontos de energia
Instalação pelo Usuário	3	Sim. Adaptadores disponíveis.
Segurança	2	Sujeito a interferências de outros aparelhos ligados à rede de energia

Tabela 4 - Avaliação Power Line Communication (PLC)

Ethernet (Cat 5)		
Critério de Avaliação	Nota	Comentário
Capacidade	2	Taxas de transmissão de 100Mbps, mas com throughput até 10Mbps
Custo de Implementação	1	Não é caro (\$8,00/chip), mas cabeamento demorado, podendo custar horas de trabalho de vários técnicos.
Facilidade de Instalação	2	Difusão da tecnologia moderada em ambientes internos domésticos. Ambientes sem nenhuma estrutura pode

		custar horas de trabalho.
Compatibilidade com Padrões	3	Padrão IEEE
Área de Cobertura	1	Necessário cabo em cada ponto de acesso
Instalação pelo Usuário	1	Não
Segurança	3	Ambiente de acesso restrito

Tabela 5 - Avaliação Ethernet Cat 5

4.1. CAPACIDADE

Para comparar-se o item “Capacidade” que refere-se à largura de banda obtida em cada tecnologia, os testes com HPNA, Wireless e PLC, foram obtidos e os resultados exibidos na tabela 6.

Descrição	HPNA	802.11n	PLC
Latência média	7,1ms	43ms	72ms
Jitter	2,6ms	3,5ms	6,2ms

Tabela 6 - Teste de Capacidade HPNA

Para os demais testes, os gráficos a seguir representam os resultados obtidos. As tabelas com os valores obtidos podem ser encontradas nos anexos.

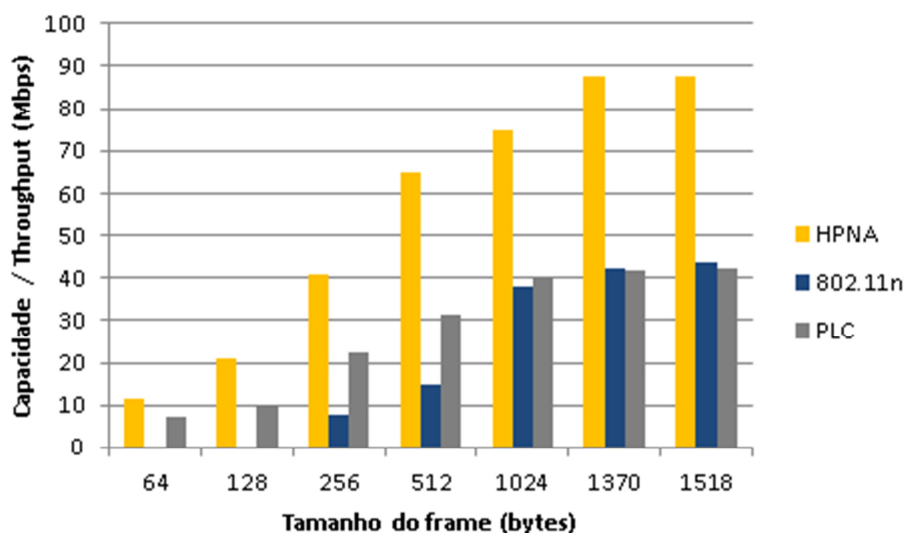


Figura 2 - Gráfico de resultados do teste 2

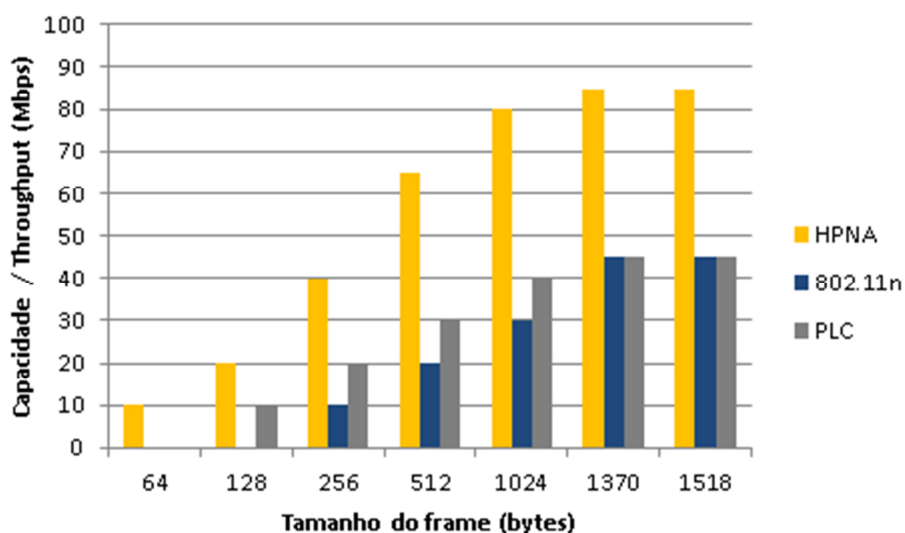


Figura 3 - Gráfico de resultados do teste 3

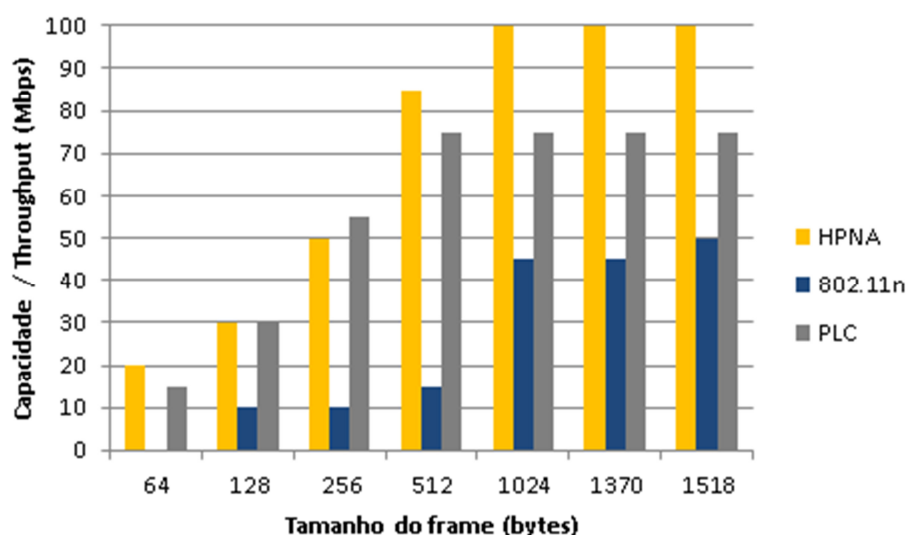


Figura 4 - Gráfico de resultados do teste 4

Estes resultados visam obter um parâmetro para comparação das tecnologias para o quesito “Capacidade”. Observando os resultados obtidos podemos extrair a seguinte análise.

O HA21 (HPNA) foi o que melhor desempenho apresentou, tendo valores de latência e *jitter* dentro do especificado pelas premissas adotadas (TR-126), além de apresentar a maior capacidade de transferência de dados (*throughput*) para os diferentes cenários testados.

O DEX W50N apresentou pico de jitter máximo de 30 milissegundos, dentro dos padrões especificados, mas latência máxima de 300 milissegundos, acima da premissa da TR-126 que impõe o valor de até 200 milissegundos para não se perder a qualidade.

Representando a tecnologia PLC, o DEX P200H também mostrou-se dentro dos padrões especificados com relação ao valor de jitter: 38 milissegundos. Por outro lado mostrou-se muito desfavorável em medida de latência máxima, chegando a 1,16 segundos.

É comum para os três equipamentos testados o fato de que, para frames pequenos, a taxa de perda de pacotes torna-se crescente, decrescendo à medida que o tamanho do frame aumenta. A explicação para este fato está no maior processamento exigido ao equipamento, pois o número de pacotes aumenta conforme diminui-se o tamanho dos frames. Importante atentar a esse aspecto quando se define a plataforma de serviços a fim de garantir bom QoE ao cliente.

Apesar de não ter sido realizado nesta ocasião, referência a testes anteriores demonstram que a tecnologia para a qual a perda de pacotes se aproxima de zero por cento em todos os cenários aqui simulados é com o uso de cabo UTP, garantindo-se o máximo de banda com o mínimo de perda. Mas, como veremos a seguir esta tecnologia leva desvantagem em outros aspectos de comparação deste trabalho.

A partir dos testes realizados para verificação de desempenho das tecnologias foram designadas notas para cada uma delas, conforme tabelas a seguir, que mostram também as notas estabelecidas para os outros aspectos de comparação.

4.2. CUSTO DE IMPLEMENTAÇÃO

O parâmetro “Custo de Implementação” compara o custo dos equipamentos de acesso a serem utilizados para que cada uma das soluções apresentadas funcione. Desta maneira, *chipsets* devem ser implementados ao *Home Gateway* de maneira a suportar cada tecnologia proposta.

Para o caso do PLC, o custo de implementação de um *chipset* que suporte esta tecnologia é baixo em comparação ao que suporte wireless, que demandaria um investimento adicional de U\$20 no desenvolvimento do *Home Gateway*. Na alternativa de fornecer um Access Point à parte do *Home Gateway*, este custo subiria ainda para faixa de U\$35 a U\$90. O custo moderado da implementação de um *chipset* que suporte HPNA compensa em caso de o cliente atendido já possuir um cabeamento coaxial instalado em sua residência, o que vai de acordo com o perfil de usuário estabelecido. No caso da utilização de cabeamento UTP, o baixo custo esbarra no fato de o tempo de instalação ser elevado.

4.3. FACILIDADE DE INSTALAÇÃO

Considerando o perfil do cliente que já possua ou alguma vez já possuiu serviços de televisão por assinatura cabeada, ou por satélite, a facilidade de instalação é muito favorável à tecnologia HPNA, uma vez que se pode reaproveitar este cabeamento para prover os serviços de internet e televisão e prevendo uma expansão de serviços para IPTV.

Prevendo a expansão de serviços, temos que cabear cada ponto de acesso com cabo UTP o que seria demasiadamente demorado, ainda considerando que muitas residências não possuem dutos suficientes para passar mais de dois cabos UTP, principalmente em edifícios.

O Wireless exigiria uma mão de obra especializada para configurar a rede, apesar de dispensar passagem de cabeamento. Porém o cabeamento para prover o serviço de televisão ainda é indispensável.

A facilidade de instalação do PLC é notável, uma vez que basta conectar o aparelho de acesso à rede elétrica.

4.4. COMPATIBILIDADE COM PADRÕES

A tecnologia PLC, disponibilizada através do HomePlug AV, apresenta a desvantagem no quesito de compatibilidade por e não possuir um padrão aberto, de livre acesso. Para se ter acesso aos documentos oficiais é necessário realizar o pagamento de uma taxa de inscrição anual (hoje em cerca de U\$10.000). Diferente do que acontece para as outras tecnologias: Wireless (802.11n/g/b), HPNA (G9954) e Ethernet.

4.5. ÁREA DE COBERTURA

No caso da utilização do cabo UTP, observa-se uma grande desvantagem diante das outras tecnologias, uma vez que seria necessário levar um cabo para cada ponto de acesso. O Wireless é limitado à obstáculos (paredes de alvenaria, entre outros), enquanto o PLC está disponível para todo ponto de energia, desde que estejam em mesma fase. Para o HPNA, também chamado de HCNA (por usar cabo coaxial), considera-se uma boa cobertura, uma vez que foi pré estabelecido que o cliente teria perfil para já possuir cabeamento instalado.

4.6. INSTALAÇÃO PELO USUÁRIO

No caso do UTP, o cabeamento por parte do próprio usuário torna-se inviável, uma vez que é necessário conhecer detalhes sobre o cabo. As configurações a serem realizadas para o wireless também dificultam a instalação pelo usuário, exigindo uma mão de obra especializada para instalação ou expansão da rede.

Para o HPNA, também é necessária mão de obra especializada na primeira instalação. Porém, na topologia proposta o usuário pode facilmente mover seu ponto de acesso utilizando *splitters*.

4.7. SEGURANÇA

O cabeamento físico é a forma mais segura de rede. No caso do HPNA, o uso de filtros podem facilmente isolar a rede, considerando a faixa de operação desta tecnologia. A interferência de outros aparelhos eletrônicos é um fator negativo para o PLC, assim como o wireless também estará sujeito à interferências.

Diante dos parâmetros comparados, ao analisarmos as considerações de cada item, pode-se verificar que o HPNA é a alternativa mais vantajosa dentre as quatro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentar-se-à as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo Ethernet apesar das altíssimas taxas de banda e baixíssimas perdas esbarra na limitação de exigir um barramento exclusivo e difícil de conciliar com o interesse do cliente. Usando a topologia em estrela, demanda vários cabos saindo de um mesmo ponto para serem distribuídos pela premissa do cliente, sob grande risco de não haver conduítes que suportem a demanda de cabos requeridos, além de demandar um alto custo de instalação.

O PLC oferece grande vantagem pela possibilidade de trafegar sinais de dados pela rede elétrica, o que eliminaria o inconveniente da passagem do cabeamento pela residência e facilitaria o trabalho quando consideramos a necessidade da proximidade dos terminais de acesso com os pontos de acesso de dados uma vez que qualquer tomada elétrica transformar-se-ia num ponto de acesso. Entretanto a baixa qualidade e falta de padronização das instalações elétricas no Brasil são fatores negativos para a escolha da tecnologia PLC para prover serviços de internet e televisão com toda a interatividade exigida pelo perfil de clientes de televisão paga. A baixa qualidade das instalações elétricas deixaria o sistema suscetível a ruído de rede, o que acarreta também na baixa qualidade de fluxo de dados e consequentemente em níveis de QoE menores. Cenários de instalações em edifícios podem ser ainda mais complicados devido a possíveis harmônicos de dispositivos muito indutivos influenciarem no sinal de dados da rede. O tráfego de sinal em fases diferentes é outro fator dificultante.

Além disto, os testes em laboratório demonstraram também menor taxa de sinal de dados em relação ao HPNA.

A tecnologia wireless (802.11n) apresenta desvantagem sob os pontos de vista de custo de implementação e segurança. A implementação desta tecnologia torna-se inviável quando consideramos a necessidade de mão de obra especializada para configuração de redes sem fio, além do custo por unidade de *Access Point*. Em questões de segurança devemos atentar para o fato de a tecnologia wireless ser a menos segura, uma vez que o acesso à rede interna do usuário dispensa contato físico e pode ser executado à distância, desde que dentro da área de cobertura da rede. Este fato torna-se ainda mais relevante em instalações em edifícios, ou áreas de alta densidade populacional.

Do ponto de vista de facilidade de instalação pode-se aproveitar uma eventual rede física já instalada de cabeamento coaxial na residência do cliente. Os custos de implementação podem ser reduzidos consideravelmente neste ponto. As faixas de frequência utilizadas pelos sinais DTH, DTT e HPNA são distintos e podem coexistir sem problemas, o que facilita a distribuição dos pontos de acesso na residência. Outra vantagem que esta tecnologia traz é a alta capacidade de taxas de transmissão e *throughput* que se destacam diante das outras tecnologias, o que é de grande relevância quando considerada ampliação de rede e aplicações futuras.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se como continuidade à esta pesquisa, uma comparação de mesmo nível envolvendo a tecnologia G.Hn, cujo primeiro *chipset* foi lançado comercialmente em fevereiro deste ano, 2011, e estará disponível comercialmente a partir de 2012. A promessa da tecnologia G.Hn é ser compatível com HPNA e atingir throughput de até 1Gbps. Também pretende ser compatível com os demais padrões de tecnologias, como PLC, Wireless, etc.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIMPSON W.; **Video Over IP: IPTV**, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology; June 2008.

MAISONNEUVE J. et al: **An Overview of IPTV Standards Development**. IEEE Transactions on broadcasting. June, 2009.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadores e a Internet**. 3. ed. São Paulo: PEARSON, 2006. 634 p. ISBN 978-85 88639-18-8.

TR-126 - BROADBAND FORUM Architecture & Transport Working Group, **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements**. 13 December 2006

GREENGRAS J. et al: **Not all packets are equal**, part 2, the impact of network packet loss on vídeo quality. 2009.

MUNDUR P.; Sood A.; SIMON R., **Threshold-based admission control for multi-class video-on-demand systems**, performance, Computing and Communications (IPCCC 98) (1998) pp. 154–160.

CHOW K.; LIOU M., **Simple call admission control and buffer management scheme for multiclass video-on-demand service**, IEEE International Symposium on Circuits and Systems 1 (1995) 466–469.

KIM Whan-Seon, **Pricing model for internet-based multi-class Video-On-Demand(VOD) services**, Springer - Telecommunication Systems. November 2006.

HAMIDZADEWH B.; TO T.J., **Prioritized admission strategies to improve user-perceived performance in interactive VOD servers**, Multimedia Tools and Applications 13 (2001) 5–34.

LI V.; LIAO W.; QIU X.; Wong E., **Performance model of interactive video-on-demand systems**, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 14(6) (1996) 1099–1109.

CHENG-SHONG WU; **Novel optimal real-time admission control and buffer management for the Video-On-Demand (VOD) service**, 2000.

ALLMAN, M.; PAXSON, V.; STEVENS, W. **TCP Congestion Control**, April 1999.

ADAS, A. **Traffic Models in Broadband Networks**. IEEE Communications Magazine, Genebra, p. 82-89, July 1997.

LIE, Arne; KLAUE Jirka , **Evalvid-RA: Trace Driven Simulation of Rate Adaptive MPEG-4 VBR Video**. 2007. Disponível em : <http://www.item.ntnu.no/~arnelie/papers/LieKlaue07-Evalvid-RA.pdf>. Acesso em 04/09/2011, 21:57:00

ITU-T Focus Group and GSI. **ITU Internet Report 2006**. Presentations at ITU-T Global IPTV Workshop, Seoul, 12-13 October 2006. Disponível em: <http://www.itu.int/ITU-T/iptv> . Acesso em: 14/10/2011

KHAN S.; LI K. F.; MANNIG E. G.; **An Architecture for Adaptive Multimedia Systems**. IEEE Pacific Rim Conference on Communications. Computers and Signal Processing, August. 1997

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.