

# Análise de Tecnologias Disponíveis para Infraestrutura Doméstica em Sistemas IPTV

Robert Christian Moritz Cantarutti Junior, Felipe Greco e Carlos Marcelo Pedroso

**Resumo**— Neste artigo é realizada uma avaliação das tecnologias disponíveis para implementação de infraestrutura de redes domésticas para sistemas IPTV. Devido a maioria das instalações residenciais ainda não se adaptarem à norma brasileira de cabeamento estruturado, foram comparadas tecnologias capazes de utilizar os sistemas de cabeamento legados. Foram realizados testes quantitativos em ambiente de laboratório e também uma pesquisa qualitativa avaliando aspectos como facilidade de instalação, área de cobertura, segurança, compatibilidade com padrões e custo de implementação.

**Palavras-Chave**— Multimedia, IPTV, rede doméstica.

**Abstract**— This paper presents an evaluation of available technologies to implement home networking infrastructure for IPTV systems. The study was made using legacy cabling technologies, because most the residential facilities do not adapt to the Brazilian standards for structured cabling. Quantitative tests were performed in a laboratory environment. A qualitative study assessing aspects such as ease of installation, bandwidth, range, security, standards compliance and implementation costs are presented.

**Keywords**— Multimedia, IPTV, home networking.

## I. INTRODUÇÃO

A Norma Brasileira que estabelece critérios para o projeto de cabeamento interno predial é a ABNT NBR 14565 [1]. As instalações prediais e residenciais que seguem esta norma estarão atendidas por cabos de par metálico que suprem as condições para implementação de um sistema doméstico para sistemas de transmissão de voz, vídeo, imagem e demais sistemas de automação, com qualidade. No entanto, a realidade da maioria das instalações de cabeamento interno das residências no país exige que as operadoras que desejam fornecer serviços de transmissão IPTV (*Internet Protocol Television*) - tenham de conviver com o legado de instalações que não seguem a norma. Adicionalmente, as operadoras não podem exigir uma troca completa de sistemas de cabeamento, sob pena de não atingir a parcela de público desejada.

Após a aprovação da PLC - Projeto de Lei Complementar - 116 (antiga PL - Projeto de Lei - 29), em 16 de agosto de 2011, possibilitando a efetivação do IPTV no Brasil, a análise das tecnologias disponíveis para a implementação da infraestrutura de IPTV para sistemas domésticos tornou-se pertinente. É importante notar que o IPTV no Brasil coexistirá por um bom tempo com instalações antigas, deixadas por outros tipos de instalações para distribuição de sinais, dentre as quais vale destacar: o cabeamento coaxial, proveniente da distribuição

de sinal de TV analógica/digital, TVC (TV a Cabo) e TV por Satélite - DTH (*Direct to Home*) e o cabo de par trançado para telefone proveniente da distribuição da telefonia e banda larga.

Neste trabalho realiza-se uma comparação entre tecnologias de redes domésticas disponíveis com objetivo de avaliar qual seria mais indicada a ser implementada em ambiente de IPTV residencial no Brasil. Com relação às redes internas do usuário serão avaliadas três tecnologias disponíveis que podem ser adaptadas ao legado de cabeamento existente: (1) tecnologia HPNA *Home Phoneline Network Alliance* [2], que consiste em prover infraestrutura de redes internas com a utilização de cabos coaxiais ou pares metálicos de telefone; (2) tecnologia de transmissão por rádio com o padrão IEEE 802.11n [3] e (3) PLC *Power Line Communication* [4], que utiliza a fiação elétrica como meio de transmissão.

Essas tecnologias em estudo foram comparadas considerando os seguintes critérios de avaliação: *throughput* (taxa de transferência efetiva máxima), custo de implementação, facilidade de instalação (*plug n play*), manutenção, compatibilidade com padrões, área de cobertura e segurança dos dados. Com os resultados de *throughput* torna-se possível a análise da capacidade de cada tecnologia quanto à sua escalabilidade, o que é importante devido a tendência das operadoras de televisão na implementação de mecanismos de interação do usuário com o conteúdo multimídia, afetando o projeto do sistema de cabeamento residencial. Além disso, existe uma crescente demanda por conteúdos em alta definição, exigindo taxas mais altas de transmissão de dados, o que significa desenvolver e implementar redes de serviços convergentes e de alto desempenho, tanto no *backbone* como nas redes internas do usuário.

Foi realizado um conjunto de testes em um ambiente de laboratório, para avaliar a capacidade de transmissão, latência e *jitter* obtidos na transmissão de conteúdos multimídia para as tecnologias avaliadas: HPNA, PLC e 802.11n. Os testes realizados nesse ambiente envolveram a geração de tráfego para imitar os cenários mais comuns de uso de uma rede doméstica e os resultados foram comparados com os requisitos de qualidade de vídeo exigidos pela TR-126 (*Triple-Play Services Quality of Experience Requirements*) [5]. Além dos testes objetivos foi realizada uma pesquisa qualitativa sobre os critérios de avaliação de cada tecnologia. Esta pesquisa foi realizada com especialistas que atuam na área de IPTV, TV Digital, sistemas de transmissão de dados e pesquisadores da área.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta definições sobre os termos mais utilizados neste

TABELA I  
DIFERENÇAS ENTRE INTERNET TV E IPTV, ADAPTADO DE [6].

InternetTV (WebTV)	IPTV (TV por IP)
Mundial, potencialmente supranacional	Local (limitado à cobertura da operadora)
Orientado ao computador pessoal (transferência de arquivo)	Orientada à TV (tempo real)
Envolvimento de alto nível - computador pessoal	Envolvimento de baixo nível - controle remoto
Sem garantia de QoS, Best-effort	QoS controlado, Qualidade de TV broadcast
Computador Pessoal	Set-Top-Box (decodificador) + Tela da televisão
Normalmente não requer autenticação	Usuários são autenticados e protegidos pela operadora
Normalmente o conteúdo não é protegido	Conteúdo é protegido
Qualquer usuário (normalmente anônimo)	Usuários com IP, endereços e localização conhecidos

artigo, as principais diferenças entre o IPTV e a Internet TV e recomendações mínimas de qualidade estabelecidas pela TR-126. A Seção III descreve os tipos de tecnologias consideradas e a Seção IV apresenta os cenários e os resultados obtidos. A Seção V fornece as conclusões.

## II. O SISTEMA IPTV

O ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector) define o IPTV como “serviços multimídia, como televisão/vídeo/áudio/texto/gráficos/dados, entregue por IP, baseado em redes gerenciadas para prover um nível de QoS/QoE (*Quality of Service/Quality of Experience*), segurança, interatividade e confiança, desejados [6].”

É importante notar as diferenças entre os termos normalmente confundidos: Internet TV e o IPTV, sumarizados na Tabela I. A Internet TV é geralmente orientada ao uso do computador pessoal, logo a sua utilização exige um nível de conhecimento de usuário computadores, por exemplo, para a instalação de software ou navegação. O IPTV é orientado para usuários de TV e necessita apenas de cursores para sua navegação pelo controle remoto. Na Internet TV não há garantia de controle sobre QoS e QoE, o servidor de conteúdo pode estar localizado em qualquer ponto da internet e artefatos nas imagens, provenientes de atraso ou perda de pacotes são muito mais comuns que no IPTV, onde têm-se o controle do QoS fim a fim. Na rede de IPTV o conteúdo é protegido e atende a exigências mínimas de reprodução das distribuidoras de vídeo, já na Internet TV o conteúdo normalmente não é protegido e o controle contra cópias e manutenção da qualidade original não são garantidos; na Internet TV a abrangência é mundial e normalmente não existe controle sobre os acessos, enquanto como na distribuição de IPTV a rede é da operadora e conhece cada usuário, seu endereço IP e suas estatísticas de uso.

O tráfego de vídeo tem comportamento variável (VBR - *Variable Bit Rate*). A transmissão de agregados de vídeo com esta característica, provoca perda, atraso e *jitter*, gerando artefatos de vídeo que podem afetar negativamente a QoE que serão percebidas pelo usuário de diversas formas [7]. Assim considera-se que as principais métricas de desempenho de qualidade são: latência, *jitter* e perda de pacotes. A TR-126 estabelece recomendações mínimas destas métricas para

os padrões de codificação mais utilizados: MPEG-2 e MPEG-4. Essas recomendações mostram que tolerância do usuário para transmissão de vídeo em tempo real é menor do que para serviços do tipo melhor esforço, como envio de e-mail ou navegação Web. Enquanto um usuário considera aceitável um atraso de até 4s na navegação HTML, a recomendação para se ter uma transmissão satisfatória de vídeo e não impactar negativamente a QoE é uma latência menor que 200ms e *jitter* menor que 50ms. Em [7] é mostrado que mesmo um nível de perda de 1% pode afetar significativamente a QoE, já em [5] recomenda-se que a taxa média de perda de pacotes deve ficar abaixo da ordem de grandeza  $10^{-6}$ . Baseados nesta recomendação serão utilizados os seguinte critérios para análise da melhor tecnologia quanto à capacidade de transmissão: *jitter* menor que 50ms, latência menor que 200ms e *throughput* máximo sem perda de pacotes.

Um pacote é declarado perdido quando ele não chega ao destino pretendido. Note-se que estas perdas sempre afetarão a QoE em diferentes níveis. Já o atraso é inerente a toda rede; é o tempo que uma informação leva para chegar de um local a outro. Por fim, o *jitter* é uma medida de variação no tempo de chegada de pacotes. Idealmente o *jitter* deve ser nulo, que ocorre quando intervalo de chegada dos pacotes é constante. Para serviços como e-mail ou transferência de arquivos, o *jitter* não possui impacto significativo ao usuário. Todavia, para sistemas em tempo real, como em IPTV e VoIP *Voice over Internet Protocol*, ele é percebido com muito mais facilidade portanto gerando um impacto proporcionalmente maior na QoE.

Assim, o sucesso de uma operadora de IPTV depende também da infraestrutura da rede doméstica e do seu correto dimensionamento para atender às expectativas de QoE. A rede do usuário final pode ou não estar pronta para atender a demanda de *throughput*, perda de pacotes, atraso e *jitter* suficientemente, impactando diretamente na QoE.

## III. TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA REDES DOMÉSTICAS

Foram escolhidas 3 tecnologias para comparação:

- HPNA: pela possibilidade de aproveitar o legado de cabo coaxial existente, pela tecnologia já estar viável com *chipssets* de fácil acesso.
- 802.11n: por já estar difundido nos computadores e *home-gateways*, por não precisar da passagem de novos cabos e por ser um grande atrativo para a distribuição de vídeo.
- PLC: que aproveita o legado de instalação elétrica como infraestrutura de transmissão.

### A. HPNA - Home Phoneline Network Alliance

A sigla HPNA remete a uma associação sem fins lucrativos de companhias que desenvolve e padroniza tecnologias para redes locais domésticas que utilizem como meio de transmissão cabos coaxiais ou fiação telefônica. Esta tecnologia foi desenvolvida com o objetivo de prover uma rede doméstica para sistemas de comunicação de dados utilizando os cabos telefônicos ou coaxiais pré-existentes. Um dos benefícios deste padrão é a possibilidade de coexistência destes sinais com

DTH e TV analógica e Digital devido à operação dos mesmos em frequências diferentes. A versão utilizada nos testes foi a HPNA 3.1 com taxa de transmissão máxima de 320Mbps e distância limitada a 300m.

### B. PLC - Power Line Communication

O PLC é a tecnologia que permite 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. Qualquer tomada elétrica transforma-se num ponto potencial para distribuição do sinal de dados. O padrão de transmissão utilizado no teste foi a definido pela *HomePlug Powerline Alliance*[4], que segue a norma IEEE 1901 [8].

### C. Wireless 802.11

É uma tecnologia de transmissão de dados utilizando ondas de rádio. Os padrões mais difundidos são o IEEE 802.11g e o 802.11n. Neste trabalho optou-se por utilizar somente este último nos testes. A taxa de transmissão da tecnologia a 802.11n está habilitada a alcançar taxas de 54Mbps a 600Mbps.

## IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

### A. Cenários

Para comparação das tecnologias foram consideradas as soluções de topologia de rede em um ambiente doméstico. Em todos os ambientes foi utilizado um ponto de acesso utilizando a tecnologia xDSL (*Digital Line Subscriber*), que permitia o acesso a diversos pontos onde foram conectados os equipamentos de TV e VoIP.

1) *Topologia HPNA*: Foi utilizada uma rede HPNA 3.1 consistindo de um único cabo coaxial para distribuição dos serviços de internet e televisão para os pontos de acesso da residência. A distribuições dos sinais de televisão terrestre e satelital, proveniente de antenas externas e a transmissão de dados do ponto de acesso xDSL, foram concentrados em um *diplexer*, a partir do qual todos os sinais coexistem em um só cabo coaxial.

2) *Topologia Wireless*: No mesmo ambiente, mas agora um cenário que utiliza a tecnologia rádio IEEE 802.11n, operando a uma taxa de 54Mbps, com todos os dispositivos compartilhando a mesma frequência, para distribuição do conteúdo proveniente do ponto de acesso xDSL. Foi configurado um ponto de acesso realizando a conversão em modo *bridge* (camada 2), operando no modo *infraestrutura*.

3) *Tecnologia PLC*: Ainda o mesmo ambiente, e mantendo mesma distância entre transmissores e receptores, agora utilizou-se a tecnologia PLC a para distribuição do conteúdo proveniente do ponto de acesso xDSL. Neste caso o meio físico para a transmissão do sinal é a fiação elétrica, em uma única fase e sem influência de outros dispositivos.

### B. Testes de Realizados

Para comparar o desempenho de tecnologias sob o ponto de vista do parâmetro *Capacidade* foram realizados testes em laboratório, onde foi possível medir *jitter*, latência e *throughput* para cada tecnologia. Os testes foram realizados com auxílio de equipamento de geração de tráfego Smartbits, da marca Spirent, com limitação de porta a 100Mbps. A rotina de testes adotada para a medição de *throughput* foi procurar a taxa máxima de transmissão onde não ocorra a incidência de perda de pacotes. Foram realizados quatro testes, descritos a seguir:

1) *Teste 1 - Medida de jitter e latência com 6 fluxos: 2 para vídeo e 4 para VoIP*: O objetivo deste teste é avaliar a degradação de desempenho na presença de diversos fluxos simultâneos. A característica VBR dos vídeos irá produzir rajadas que podem levar a degradação dos parâmetros de qualidade de serviço. A taxa de transmissão foi progressivamente elevada, sendo anotado a taxa de transmissão, o *jitter*, a latência e as perdas. Para a transmissão de vídeo, foram analisados diversos tamanhos de quadros: 64, 128, 256, 512, 1024, 1370 e 1500 bytes, transmitidos sobre o protocolo UDP. A largura de banda foi variada de 10Mbps até 100Mbps. Para o fluxo VoIP o tamanho do quadro VoIP era fixo, de 78 bytes.

2) *Teste 2 - Medida de throughput com 6 fluxos: 2 de vídeo e 4 de VoIP*: Foram simulados seis fluxos, sendo dois de vídeo e quatro de VoIP, visando observar o *throughput* de vídeo, quando coexistindo com tráfego VoIP. Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de quadros: 64, 128, 256, 512, 1024, 1370 e 1500 bytes, transmitidos sobre UDP. Da mesma forma que o primeiro teste realizado, mantendo-se o tamanho dos quadros fixo e a banda foi variada até que fosse verificado o *throughput* máximo sem incidência de perdas. O tamanho do quadro VoIP era fixo: 78 bytes.

3) *Teste 3 - Medida de throughput com 2 fluxos de vídeo*: Foi realizada a transmissão de dois fluxos de vídeo, visando monitoração do *throughput*. Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de quadros: 64, 128, 256, 512, 1024, 1370 e 1500 bytes, transmitidos em UDP. Para estes pacotes foi variado a banda, a partir de aproximadamente 10Mbps até 100Mbps, sendo utilizado dois fluxos de dados transmitindo com a mesma taxa. Mantendo-se constante o tamanho do quadro, a carga foi progressivamente incrementada até que fosse verificado o ponto máximo sem a incidência de erros, quando então mudava-se o tamanho do quadro e repetia-se o teste.

4) *Teste 4 - Medida de throughput com 1 fluxo de vídeo*: Foi realizada a transmissão de um fluxo de vídeo, visando monitoração do *throughput* máximo quando houver apenas um fluxo. Este teste será utilizado como referência na comparação de desempenho, pois representa a situação onde não há concorrência de tráfego na rede - nos outros casos, existe uma concorrência pelo acesso ao meio, tendendo a degradar o desempenho geral. Para vídeo adotaram-se os seguintes valores de quadros: 64, 128, 256, 512, 1024, 1370 e 1500 bytes, transmitidos com UDP. Neste teste, foi variada a banda, a partir de aproximadamente 10Mbps até 100Mbps. Mantendo-se constante o tamanho do quadro, a banda era variada até que fosse verificado o ponto máximo sem incidência de erros,

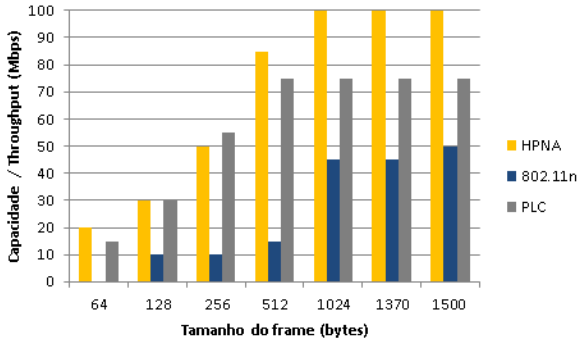


Fig. 1. Resultados do Teste 4

de 5Mbps em 5Mbps quando então mudava-se o tamanho do quadro e repetia-se o teste de carga.

### C. Apresentação e Análise dos Resultados

O Teste 4 avalia o *throughput* de uma transmissão de um único fluxo de vídeo. A Figura 1 representa os resultados da taxa de transferência efetiva máxima apresentada. Como nesse teste procura-se o *throughput* para cada tamanho de pacote, com fluxo único de vídeo, nota-se que o HPNA atinge o *throughput* máximo do gerador de tráfego (100Mbps) a partir de pacotes de 1024 bytes. A tecnologia 802.11n atingiu o seu máximo *throughput* para vídeo chegando a 50Mbps com pacotes de 1500 bytes. O PLC com pacotes de mesmo tamanho obteve *throughput* 75Mbps. Observa-se que quando se reduz o tamanho do quadro o *throughput* é reduzido drasticamente - o pior efeito é percebido na rede 801.11n.

O Teste 2 avalia o *throughput* máximo na presença de múltiplos fluxos. A Figura 2 apresenta os valores de *throughput* medidos para cada tecnologia no segundo teste: nota-se que para pacotes de 1500 bytes, as maiores taxas de transferências foram obtidas pelo HPNA: 87,5Mbps, o 802.11n e PLC chegaram a uma taxa de 43,8Mbps e 42,3Mbps, respectivamente. Nota-se, todavia que para pacotes menores o *throughput* do PLC é visivelmente maior que o do 802.11n, sendo que para esse resultou 14,7Mbps e para aquele 31,5Mbps, com pacotes de tamanho de 512 bytes. Observa-se que os efeitos do tráfego concorrente tiveram como consequência a redução do *throughput* em todas as tecnologias em estudo. No entanto, a rede 801.11n e PLC apresentaram uma redução comparativamente maior à HPNA, provavelmente em função dos mecanismos de acesso ao meio utilizados nestas tecnologias. Novamente observa-se que a redução no tamanho do quadro impacta fortemente no *throughput* das redes em estudo.

Os resultados do Teste 3 são apresentados na Figura 3. O *throughput* medido para HPNA chegou a 85Mbps neste teste, a partir de pacotes de 1024 bytes e de 45Mbps para 802.11n e PLC. Os resultados são semelhantes aos resultados apresentados no Teste 2.

No Teste 1 foram avaliados a latência e o *jitter* na situação em que ocorre a taxa máxima de transmissão sem perdas, para diversos tamanhos de pacotes. A Tabela II mostra o valor destes parâmetros para o tamanho de quadro de 1500 bytes.

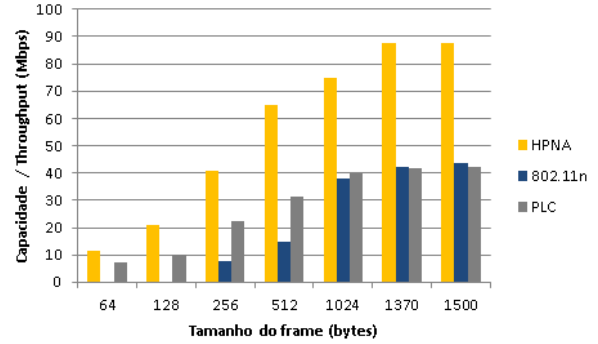


Fig. 2. Resultados do Teste 2

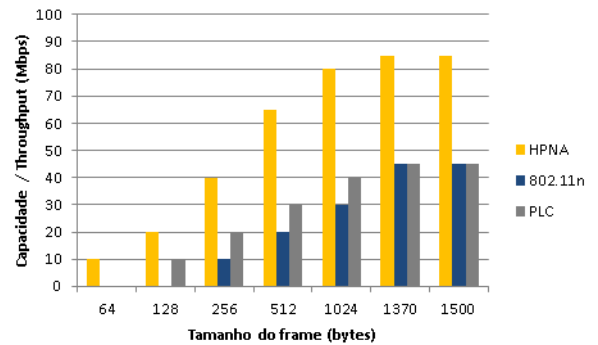


Fig. 3. Resultados do Teste 3

Para este caso, todas as tecnologias apresentaram resultados suficientes para o *jitter*, abaixo do limite máximo especificado de 50ms.

TABELA II  
RESULTADOS DO TESTE 1

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

Os resultados mostram que todas as tecnologias em estudo atendem os requisitos de desempenho para transmissão de até dois fluxos de vídeo e quatro fluxos de voz simultâneos, desde que o tamanho do pacote seja mantido grande. Caso ocorra fragmentação de pacotes, gerando pacotes menores, ocorre uma sensível degradação de desempenho. Com pacotes menores que 512 bytes as tecnologias 802.11n e PLC deixam de atender o *throughput* mínimo para transmissão de vídeo HDTV. A rede 802.11n mostrou-se particularmente sensível à redução do tamanho do quadro: mesmo quando não havia concorrência de acesso ao meio, com um fluxo único, o desempenho foi insuficiente para pacotes menores que 512 bytes. A fragmentação de pacotes IP versão 4 ocorre nos roteadores da rede devido ao MTU (*Maximum Transfer Unit*) da camada de enlace - muitas vezes ocorre fragmentação em função da realização de condicionamento de tráfego na rede da operadora. De modo geral, observa-se que a tecnologia HPNA apresenta melhor desempenho em relação ao *throughput* se comparado ao PLC e a rede 802.11n. Quando se compara

a latência e o *jitter*, para o Teste 1 (pior caso em termos de tráfego concorrente), observa-se que o HPNA também apresentou melhores resultados, embora o PLC e o 802.11n apresentem atraso e *jitter* dentro dos limites estabelecidos pela TR-126.

#### D. Avaliação Qualitativa

Foi realizada uma avaliação qualitativa de diversos aspectos das tecnologias em estudo, onde 22 especialistas que atuam na área responderam um questionário em que deveria ser atribuída uma nota de 1 a 3 (1 representa a menor e 3 a maior), para os seguintes critérios de avaliação:

- Capacidade: Capacidade para transmissão de dados em uma rede doméstica para transmissão de IPTV;
- Custo de implementação: avaliação do custo financeiro da implementação da solução para o usuário;
- Facilidade na instalação: grau de facilidade encontrado na implementação da rede;
- Padronização: avalia se os padrões estão devidamente estabelecidos para a tecnologia em questão;
- Área de cobertura: possibilidade de atingir todas as regiões da instalação residencial;
- Instalação pelo usuário: avalia se o próprio usuário é capaz de realizar a configuração física da rede;
- Segurança: a segurança à informação trafegada é razoável ou não.

A Tabela III apresenta as notas médias obtidas em cada um dos critérios de avaliação pelos especialistas da área.

TABELA III  
RESULTADOS DA AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Critério de avaliação	HPNA 3.1	PLC	802.11n
Capacidade	2,37	1,41	1,70
Custo de Implementação	1,95	1,65	2,10
Facilidade na instalação	1,67	2,33	2,55
Padronização	2,05	1,65	2,36
Área de Cobertura	2,33	2,05	1,59
Instalação pelo usuário	1,52	2,29	2,18
Segurança	2,33	1,83	1,95
Média	2,03	1,89	2,06

Observa-se que os especialistas consideraram a tecnologia HPNA mais adequada no quesito capacidade, segurança e melhor área de cobertura. O 802.11n foi considerada a tecnologia de mais fácil instalação e manutenção, bem como a que possui a melhor padronização. O PLC foi considerado a tecnologia de mais fácil instalação pelo usuário. Em média, a melhor tecnologia na opinião dos especialistas foi o 802.11n, seguido de perto pelo HPNA e em último lugar a tecnologia PLC.

#### V. CONCLUSÃO

A avaliação de capacidade realizada em ambiente de laboratório mostrou que as três tecnologias em estudo podem ser utilizadas para implementação de uma rede doméstica para distribuição de fluxos multimídia para sistemas IPTV. Mesmo no cenário de testes onde foi realizada a transmissão de 6 fluxos simultâneos (2 de vídeo e 4 de voz), os parâmetros de desempenho permaneceram dentro dos limites

estabelecidos. No entanto, os testes também mostraram que as redes PLC e 802.11n são particularmente sensíveis a redução do tamanho do quadro. Caso ocorra uma fragmentação do tráfego em quadros de tamanho menor que 512 bytes, a degradação dos parâmetros de qualidade impede o uso destas na implementação da rede doméstica. A fragmentação do tráfego IP pode ocorrer por diversos motivos: no *backbone* da rede ao atravessar uma rede com MTU pequeno, ao realizar condicionamento de tráfego, ao sofrer suavização de tráfego na origem, entre outros. A rede HPNA não foi tão afetada com a redução no tamanho do quadro, apresentando condições de operação mesmo com níveis severos de fragmentação. Além disso, observa-se também que os valores para latência e *jitter* são menores para o HPNA, se comparado com o PLC e 802.11n.

A avaliação qualitativa mostra uma preferência dos especialistas consultados pela rede 802.11n, seguida de perto pela HPNA. A rede PLC permaneceu em último lugar. Na pesquisa realizada as melhores avaliações para o 802.11n foram nos itens facilidade de instalação, o custo de implementação e a padronização. Os pontos fracos que podem aparentar riscos na escolha desta tecnologia são, portanto: capacidade, área de cobertura e segurança. Já o inconveniente do PLC é a falta de padronização apontada como a maior desvantagem, assim como a segurança e capacidade. Em relação a essa última, nos testes realizados apresentou valores de *throughput* semelhante ao 802.11n para pacotes maiores, com vários fluxos de vídeos.

Destaca-se ainda o grande massivo de cabo coaxial legado passível de ser utilizado. De acordo com o panorama 2011 divulgado pela Anatel [9], existem em operação no Brasil, 241 operadoras de TVC, 78 operadoras de MMDS e 13 operadoras de DTH. Refletindo em aproximadamente 12,7 milhões de assinaturas com os seguintes pesos: 54,81% DTH, 43,3% TVC e 1,89% MMDS. Dessa forma a DTH e TVC representam a maioria do universo de TV por assinatura. Como tanto a TVC como DTH utilizam cabo coaxial, a rede legada favorece a implementação do HPNA.

#### REFERÊNCIAS

- [1] NBR14565, *Procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada*. ABNT, 2006.
- [2] ITU-T, "Phone line networking transceivers - enhanced physical, media access, and link layer specifications," Janeiro 2007.
- [3] IEEE, "Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications," 2009.
- [4] "Home plug power line alliance." [Online]. Available: <https://www.homeplug.org/>
- [5] T. Rahrer, R. Fiandra, and S. Wright, *Triple-play Services Quality of Experience Requirements*. Canada: DSL Forum, December 2006. [Online]. Available: <http://www.dslforum.org>
- [6] D. M. H. J. L. W. L. H. S. R. Maisonneuve, J. and Y. Wu, "An overview of IPTV standards development," in *IEEE Trans. Broadcasting.*, June 2009, pp. 315–328, proceedings of the 4th International ICSC Symposium in Thessaloniki, Greece, May 28–29, 2009.
- [7] J. Greengrass, J. Evans, and A. C. Begen, "Not all packets are equal, part i: Streaming video coding and sla requirements," *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 1, pp. 70–75, 2009.
- [8] S. Goldfisher and S. Tanabe, "IEEE 1901 access system: An overview of its uniqueness and motivation," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 10, pp. 150–157, october 2010.
- [9] J. B. de Rezende, "Panorama dos serviços de TV por assinatura," Dezembro 2011, <http://www.anatel.gov.br/>.