

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

ANDRÉ FERREIRA SANTANA

IPTV EM REDE XDSL E GPON

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

ANDRÉ FERREIRA SANTANA

IPTV EM REDE XDSL E GPON

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Luis Carlos Vieira

CURITIBA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ FERREIRA SANTANA

IPTV EM REDE XDSL E GPON

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 11 de julho de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Coordenador de Curso Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. M.Sc. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Nelson Garcia de Paula
UTFPR

Prof. MSc. Lincoln Herbert Teixeira
UTFPR

Prof. Dr. Luis Carlos Vieira
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Aos meus pais, irmãs, minha noiva e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

RESUMO

SANTANA, André. **IPTV em rede xDSL e GPON**. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

As redes de telecomunicações no Brasil são, em grande parte, bastante antigas. Em função da grande dimensão do país, a manutenção da rede e até mesmo uma troca de tecnologia torna-se um processo dispendioso. Esta pesquisa faz uma abordagem sobre a disponibilização do serviço de TV por assinatura em rede xDSL e GPON. Além da análise teórica, foram realizados testes em redes reais de uma empresa de telecomunicações em Curitiba para entender o comportamento da rede de acesso e da disponibilidade do serviço na prática. O trabalho apresenta conceitos das redes de telecomunicações até o usuário final, história e tipos de tecnologia de acesso ao serviço de TV por assinatura. Os resultados mostram que é viável utilizar as redes xDSL para disponibilizar o serviço de IPTV desde que sejam respeitadas suas limitações de distância de distribuição, não exigindo das operadoras antigas que troquem suas redes metálicas por redes de acesso ópticas para disponibilizar esse serviço. Entretanto, os resultados em rede GPON possibilitam um serviço mais confiável e de maior qualidade.

Palavras chave: IPTV. xDSL. TV por Assinatura. Redes de Acesso. GPON.

ABSTRACT

SANTANA, André. **IPTV on xDSL and GPON Network**. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

The telecommunications networks in Brazil are mostly quite old and the huge country's size makes network maintenance and a evolution of technology a costly process. This research is an approach to the provision of pay TV service in xDSL and GPON network. Besides the theoretical analysis, tests were performed in real networks, of a telecommunications company in Curitiba, to understand the behavior of the access network and service availability in practice. This work presents concepts of telecommunications networks to the end user, history and access technology of the pay TV service. The results show that it is feasible to use the xDSL networks to provide the IPTV service, if the distance limitations are considered. This way, TV operators do not require to replace their twisted par-based by optical fiber-based access networks to provide this kind of service. However, the results with GPON networks enable a more reliable service and of better quality.

Keywords: IPTV. xDSL. Pay TV. Access Network. GPON.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Proporção das principais resoluções de imagem para TV em pixels.	20
Figura 2 – Arquitetura de TV por assinatura.....	26
Figura 3 – Sistema de distribuição de TV a Cabo.....	27
Figura 4 – Arquitetura de solução MMDS.	29
Figura 5 - Frequências em ADSL.....	31
Figura 6 – Tecnologia Zipper.	33
Figura 7 – Arquitetura básica IPTV.....	35
Figura 8 – Placa de serviço nas laterais e placa de gerencia ao centro.	37
Figura 9 – MSAN ALCATEL 7360.	37
Figura 10 – Diagrama de arquitetura para testes.	40
Figura 11 - Efeito de macroblock.	43
Figura 12 - Pixelização de imagem.	43
Figura 13 – Efeito de interrupção de frame.	43
Figura 14- Perda de pacotes.	44
Figura 15 - Média de Jitter ao longo do tempo.....	47
Figura 16 - Máximo de Jitter ao longo do tempo.....	47
Figura 17 – Comparação de resultados do Jitter ao longo da rede.	48
Figura 18 – Comparação do Jitter Médio ao longo da rede.....	49
Figura 19 – Relação de custo Metálico (VDSL) vs GPON.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tecnologias de Acesso Metálicas - 2001	13
Tabela 2 – Resoluções de Imagens conhecidas.	20
Tabela 3 – Comunicação Via Satélite - 2003	30
Tabela 4 – Custo em Rede GPON	51
Tabela 5 – Custo em Rede VDSL	51

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ADSL - Assimetrical Digital Subscriber Line.

ADSL2+ - Asymmetric Digital Subscriber Line extended bandwidth.

AN - Access Network.

ANSI -American National Standards Institute

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações.

CATV - Community Antenna Television.

DTH - Direct to Home.

ETSI - European Telecommunications Standards Institute.

FCC - Federal Communications Commission.

FEC - Forward Error Correction.

GPON - Gigabit Passive Optical Network.

HDSL - High-Bit-Rate Digital Subscriber Line.

HDTV - High Definition Television.

IP - Internet Protocol.

IPTV - Internet Protocol Television.

ITU - International Telecommunications Union.

MMDS - Distribuição Multiponto Multicanal

MPEG - Moving Pictures Experts Group.

NAB - National Association of Broadcasters.

NTSC - National Television System Committee.

PNBL - Plano Nacional de Banda Larga.

RTP – Real Time Protocol.

STB - Set-top box.

UDP – User Datagram Protocol.

VDSL - Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line.

VLAN - Virtual Local Area Networks.

VoD - Video on demand.

VOIP - Voice over Internet Protocol.

VP8 – Codec de video.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA	13
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	15
1.3	OBJETIVOS.....	15
	OBJETIVO GERAL	15
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	TV.....	18
3.2	TV POR ASSINATURA	23
3.2.1	No Mundo	23
3.2.2	No Brasil.....	24
3.2.3	Arquitetura de serviço de TV por assinatura.....	26
3.2.4	Acesso via CABO	27
3.2.5	Acesso MMDS	28
3.2.6	Acesso DTH.....	29
3.2.7	Acesso IPTV	30
3.3	A TÉCNICA ADSL	30
3.4	A TÉCNICA VDSL	32
3.5	A TÉCNICA IPTV	34
3.5.1	Arquitetura	35
3.5.1.1	Headend	35
3.5.1.2	Core IP.....	36
3.5.1.3	Rede de Acesso	36
3.5.1.4	Usuário.....	38
4	TESTES DE TECNOLOGIA	39
4.1	AMBIENTE DE TESTES	39
4.1.1	Análise de perda de pacotes RTP	41
4.1.2	Análise de comportamento de Jitter.....	45
4.1.3	Análise de Head-End	47
4.1.4	Comportamento do Jitter ao longo da rede	48
5	IPTV EM ACESSO xDSL e GPON	50
5.1	LIMITAÇÕES TÉCNICAS DO xDSL E VANTAGENS DO GPON.....	50

5.2	COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE ACESSO xDSL E GPON	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
7	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O serviço de TV no Brasil já evoluiu consideravelmente desde seu surgimento na década de 50. Entretanto, na atualidade, nova evolução se faz necessária neste tipo de serviço uma vez que os consumidores não querem mais serem meros telespectadores. Os consumidores querem interagir, escolher o final da novela, votar em programas ao vivo, e principalmente consumir o que quiserem quando quiserem. Para tanto, o próximo passo na oferta da programação de TV é através da rede IP (Internet Protocol), possibilitando interação entre TV, Internet e vídeo.

Segundo o estudo da *Ericsson Consumer Lab - TV and Medias* (2014) “hoje em dia, novos agregadores permitem que os consumidores decidam o que eles querem assistir e componham seus próprios pacotes de serviços. Cinco em cada dez consumidores preferem este tipo de serviço flexível do que a TV tradicional”.

Logo, o IPTV é a principal tecnologia que possibilita tanto a interatividade quanto a disponibilidade do conteúdo.

Para a oferta do serviço de TV por IP, se faz necessário uma rede de acesso, que é o caminho de conexão entre o provedor do serviço e o cliente final, seja ele pessoa física ou cliente corporativo. Assim, as operadoras de telecomunicações, que já possuem redes de acesso implantadas, têm grande interesse de entrar no mercado de TV a fim de aumentar seu leque de serviços e, conseqüentemente, seus rendimentos. Basicamente, o serviço de IPTV oferece à operadora de TV o sonhado “caminho de retorno” para receber informações do cliente, e com isso tornar possível o compartilhamento de consumo no aparelho de TV do cliente, com a oferta de serviços como Youtube, Facebook, Twitter, VoD (vídeo sob demanda), dentre outros.

A transmissão de serviço de TV sobre IP é uma tecnologia ainda recente, mas tratada por algumas operadoras de serviços de telecomunicações como um serviço essencial na ampliação de resultados e crescimento da base de clientes.

Em virtude da nova forma de transmitir vídeo, áudio e outras informações necessárias para a utilização de uma TV por assinatura com seus serviços (via IP), precisa-se cada vez mais de melhorias em algoritmos de compressão (Mpeg2, Mpeg4 e VP8) e modos de transmitir (Via Fibra, Cabo coaxial e Satélite), pois o serviço de TV por IP possivelmente impactará na taxa de transmissão de dados entregue ao cliente no caso de uma companhia com tripleplay (TV, Telefone e Internet). Outro problema é a velocidade com que a troca de canais poderá ser executada conforme delay da rede, trazendo a sensação de lentidão.

Frente a esses e outros problemas, este trabalho trata da solução de arquitetura e possíveis dificuldades para esta nova experiência de Televisão realmente interativa e disponível.

1.1 PROBLEMA

Apesar de tecnologias de acesso em fibra óptica, tal como GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), estarem crescendo fortemente no Brasil, as operadoras de telecomunicações possuem quase que a totalidade de suas redes de acesso formadas por cabeamento metálico de par trançado. Financeiramente é dispendioso fazer uma troca da rede em par metálico por fibra ótica. Supondo que o custo da instalação GPON possua o mesmo custo de uma instalação metálica, seria investir o valor da rede 2 vezes para manter a mesma base de assinantes. Por outro lado, os serviços oferecidos precisam evoluir, portanto, é preciso buscar alternativas tecnológicas que possibilitem a oferta de IPTV usando a rede de acesso em par metálico. A Tabela 1 mostra uma breve descrição das tecnologias utilizadas em redes de acesso metálicas.

Tabela 1 – Tecnologias de Acesso Metálicas - 2001

Nome	Significado	Taxa de Transmissão	Modo	Aplicações
v.22 v.32 v.34 v.90	Modems na faixa de voz	1,2k a 56k bps	Duplex	Transmissão de dados/Internet
DSL	Digital Subscriber Line	160 Kbps voz e dados	Duplex	RDSI
HDSL	High Data rate Digital Subscriber Line	1.544Mbps 2,048 Mbps	Duplex	Tráfego T1/E1, acesso WAN, LAN e servidores
SDSL	Symmetric line Digital Subscriber Line	1,544 Mbps 2,048 Mbps	Duplex	Semelhante ao HDSL e acesso simétrico

Nome	Significado	Taxa de Transmissão	Modo	Aplicações
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1,5 a 9 Mbps 16 a 640 Kbps	Downstream Upstream	Acesso Internet, Vod, vídeo simplex, LAN e serviços interativos
ADSL 2+	Asymmetric Digital Subscriber Line	20 Mbps 1 Mbps	Downstream Upstream	Acesso Internet, Vod, vídeo simplex, LAN e serviços interativos
VDSL	Very high Data rate Digital Subscriber Line	13 a 52 Mbps 1,5 a 2,3 Mbps	Downstream Upstream	Idem ADSL e HDTV

FONTE: TOLEDO (2001).

Se uma empresa de Telecomunicações optar, por exemplo, por utilizar uma compressão MPEG-4 (Moving Picture Experts Group) com uma taxa para conteúdo HD de 7 Mbps, dependendo da configuração do produto oferecido, nem mesmo o ADSL 2+ conseguiria atender à demanda.

Outro problema para a oferta de IPTV é como garantir a Qualidade de Experiência (QoE - Quality of Experience) percebida pelos usuários deste serviço. A QoE do usuário de IPTV deve ser igual ou melhor do que aquela dos serviços de TV por assinatura convencionais. Duas áreas fundamentais para o teste da QoE no IPTV são: (1) medição da habilidade e velocidade de mudança de canais; (2) métricas de qualidade de áudio e vídeo. Existem muitos fatores que podem comprometer a QoE do serviço IPTV tais como: perda de pacotes na rede, latência, jitter, dentre outros. Portanto, o teste dos aspectos técnicos que influenciam a experiência do serviço por parte do usuário é uma questão difícil e desafiante (Menezes, et al, 2008).

1.2 JUSTIFICATIVAS

Embora a legislação brasileira esteja adaptada para as empresas de telecomunicações adentrarem ao mercado de TV por assinatura e a solução de IPTV esteja cada vez mais madura no exterior, a tecnologia de IPTV está ainda muito pouco difundida no Brasil. Portanto, faz-se necessário um estudo das tecnologias e das arquiteturas necessárias para que uma empresa de telecomunicações possa implantar o serviço de IPTV utilizando sua rede de acesso já existente.

Em 2007, o então presidente da Alcatel-Lucent Brasil, Jonio Foigel destacou a importância da rede de acesso.

Sem tirar a importância das redes de longa distância e metropolitanas, a rede de acesso é claramente o vetor fundamental para suportar as mudanças a que são submetidos os Operadores de Serviços de Telecomunicações na busca contínua por modelos de negócio mais sustentáveis e pela excelência dos serviços, num ambiente competitivo (Jonio Foigel, 2007, p.1).

Uma vez que grande parte da rede de acesso das operadoras para a oferta de serviços banda larga é atualmente constituída por par metálico e utiliza tecnologia xDSL, é importante estudar quais adaptações são necessárias numa rede xDSL para que a mesma possibilite a oferta de serviço de IPTV com boa qualidade.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade da oferta do serviço de IPTV através de redes de acesso xDSL e GPON.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as tecnologias de acesso de serviços de TV por assinatura;
- Analisar as dificuldades existentes para a oferta do serviço de IPTV através de redes de acesso xDSL e GPON;

- Testar e comparar o desempenho da transmissão de sinais IPTV em enlaces xDSL e GPON.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos relacionados com conceitos e características do serviço de IPTV e dos meios de transmissão.

Capítulo 1 - Introdução: serão apresentados o tema, as delimitações da trabalho, o problema a ser resolvido, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo 2 – Procedimentos Metodológicos: serão especificados os materiais de estudo e contextualizado o ambiente de testes.

Capítulo 3 – Fundamentação Teórica: serão abordados os conceitos de TV aberta e TV por assinatura, essa com seus meios de acesso: cabo, MMDS, DTH e IPTV. Além da visão geral, avaliaremos, no acesso IPTV, a arquitetura da solução contemplando o *Headend*, *Core IP*, a rede de acesso e o usuário.

Capítulo 4 – Testes de Tecnologia: será analisado os resultados dos testes realizados em redes reais, a fim de validar o impacto de qualquer mudança, direto na percepção do cliente.

Capítulo 5 – IPTV em acesso xDSL e GPON: será realizada uma análise no cenário geral do serviço disponibilizado nas tecnologias xDSL e GPON, ao mesmo tempo em que será realizado um comparativo financeiro entre as duas tecnologias de acesso.

Capítulo 6 – Considerações Finais: serão retomados a pergunta de pesquisa e os seus objetivos e apontado uma breve comparação entre xDSL e GPON, finalizando o trabalho com a conclusão.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como a aplicação da tecnologia xDSL para a oferta de IPTV é um tema relativamente novo e complexo, serão utilizados materiais publicados pelas empresas fornecedoras de equipamentos de redes de acesso, transmissão, dados, comutação e TV como fonte de informações sobre as tecnologias disponíveis no mercado (Agilent, Alcatel, Ericsson, Kaon e Zhone). Serão utilizados também materiais acadêmicos como artigos, livros e monografias de especialização para buscar entendimento das tecnologias xDSL, GPON, TV e entendimento de problemas e soluções sobre o serviço de IPTV.

Nos testes reais de desempenho de enlaces xDSL e GPON para tráfego IPTV, será utilizado ambiente de laboratório com equipamentos de uma empresa coreana, utilizados na rede de uma operadora de telecomunicações em Curitiba. Os testes serão realizados com simulação de tráfego de clientes e com configurações aplicadas para que o serviço de IPTV seja disponibilizado em paralelo com o serviço de dados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 TV

Embora a televisão pareça uma invenção completamente moderna, disponível apenas a partir de meados do século 20, o conceito de recriar imagens em movimento eletricamente, foi desenvolvido bem mais cedo. Ela pode ser rastreada pelo menos até 1884, quando Paul G. Nipkow criou o disco de digitalização rotativa, que forneceu uma forma de enviar uma representação de uma imagem em movimento ao longo de um fio, usando sinais elétricos variados criados por digitalização mecânica com a mudança da imagem (Bellis, 2016).

Em 1941, as normas técnicas para a digitalização e transmissão de imagens de televisão nos Estados Unidos da América foram acordadas e essas normas têm, em geral, sido mantidas desde então. O padrão americano, conhecido como *National Television System Committee* (NTSC), utiliza 525 linhas, 60 campos, 30 quadros e varredura entrelaçada. Isto significa que as imagens são digitalizadas na câmera e reproduzidas no receptor de televisão ou monitor 30 vezes por segundo. A digitalização de uma imagem completa (ou quadro) é realizada por meio da divisão da imagem em 525 linhas horizontais. Inicialmente, são digitalizadas sequencialmente todas as linhas pares (cada linha) de cima para baixo criando um campo, e depois digitalizadas as linhas ímpares criando-se da mesma forma um segundo campo. Os dois campos quando combinados (entrelaçados) criam um quadro/ imagem. Portanto, 30 imagens completas ou quadros, cada um composto por dois campos, são criados a cada segundo (Fink. 2006).

Uma vez que não é possível perceber as alterações individuais em luz e imagem acontecendo tão rapidamente, as imagens digitalizadas de 30 vezes por segundo são percebidas como movimento contínuo, uma característica conhecida

como "persistência da visão". O padrão NTSC é usado no Canadá, em partes da Ásia, incluindo o Japão, e grande parte da América Latina, bem como nos Estados Unidos. Mas há outros dois "padrões" em uso comum hoje em dia. Os sistemas PAL, um padrão de 25 quadros por segundo, com um número de variantes, utilizados na maior parte da Europa ocidental e na Índia, bem como outras áreas. O SECAM padrão de 25 quadros por segundo é usado em muitas partes do mundo, incluindo a França, a Rússia e a maior parte da Europa Oriental. Os países que usam 60 Hertz de corrente alternada adotaram um sistema de televisão de 30 quadros por segundo. Países que utilizam uma frequência de 50 Hz no sistema de energia tem um sistema de televisão de 25 quadros por segundo. Em todos estes sistemas de televisão a taxa de quadros por segundo é igual a metade da frequência de alimentação de corrente alterna (Baptista, 2012).

A "relação de aspecto" da tela da televisão é a relação entre a dimensão horizontal para a dimensão vertical, de 4: 3. Por exemplo, se uma tela de receptor de TV é de 16 polegadas de largura, a tela será de 12 polegadas de altura. Tubos de imagem de televisão são definidas pela sua diagonal. Assim, no exemplo acima da tela poderia ser descrito como uma televisão de 20 polegadas. Muitas vezes, os filmes são mostrados na televisão em um formato de "caixa preta". Uma vez que filmes são normalmente gravados em uma relação de aspecto maior do que 4:3, é necessário deixar um espaço preto na parte superior e na parte inferior do monitor do televisor para que a película possa ser vista de uma forma que não haja distorção da imagem. Televisão "*High Definition*" também utiliza uma proporção maior, geralmente 16: 9. A Figura 1 mostra os principais formatos para os aparelhos de televisão. Na tabela 2 estão listadas as resoluções de vídeo mais conhecidas no mercado.

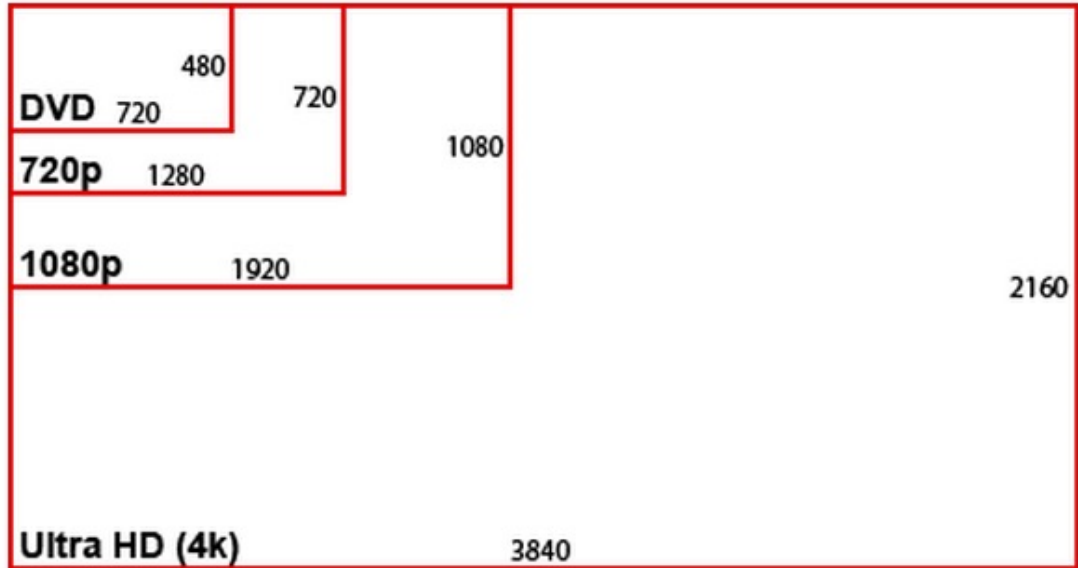


Figura 1 – Proporção das principais resoluções de imagem para TV em pixels.
Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Resoluções de Imagens conhecidas.

Resolução/ Relação de Aspecto	4:3	15:9	16:9	16:10	3:2	5:3	5:4	Total de Pixels
CGA				320 x 200				64.000
QVGA	320 x 240							76.800
VGA	640 x 480							307.200
NTSC					720 x 480			345.600
WVGA						800 x 480		384.000

Resolução/ Relação de Aspecto	4:3	15:9	16:9	16:10	3:2	5:3	5:4	Total de Pixels
WSXGA				1680 x 1050				1.764.000
UXGA (2MP)	1600 x 1200							1.920.000
HD1080			1920 x 1080					2.703.600
WUXGA				1920 x 1200				2.304.000
QXGA (3MP)	2048 x 1536							3.145.728
WQXGA				2560 x 1600				4.096.000
QFHD (4K)			3840 x 2160					8.294.400
HXGA	4096 x 3072							12.582.912
WHXGA				5120 x 3200				16.384.000
HSXGA						5120 x 4096		20.971.520
HUXGA	6400 x 4800							30.720.000
UHD (8K)			7680 x 4320					33.177.600
WHUXGA				7680 x 4800				36.864.000

Fonte: Tabela Completa de Resoluções de Tela proscreenvideo (2013)

3.2 TV POR ASSINATURA

3.2.1 No Mundo

Em 1948, para disponibilizar os sinais de TV aberta nos EUA que não chegavam com qualidade às pequenas comunidades, foram instaladas antenas de alta sensibilidade para captação dos sinais, redistribuindo os sinais por cabos coaxiais e originando assim o sistema CATV (*Community Antenna Television*). John Walson utilizou esse sistema para impulsionar as vendas de sua loja para os aparelhos de Televisão, entregando o sinal (via cabo coaxial) para as pessoas que comprassem o aparelho em sua loja. Apesar de ter uma motivação comercial o serviço não surgiu como meio para transmitir conteúdo exclusivo (e pago). A NCTA (Associação Nacional de Cabo e Telecomunicações, foi criada 12 anos depois em 1960, estendendo a demanda de cabo para as principais áreas metropolitanas.

Fundada em 1972, a HBO foi desenvolvida como uma operação paga de serviço especial de filme em Nova York. Em novembro do mesmo ano, o serviço foi ampliado quando um jogo da Liga Nacional de Hóquei do jardim Madison Square foi transmitido para 365 assinantes de TV Serviço de cabo eléctrico em Wilkes-Barre, Pennsylvania. Depois de três anos de expansão, utilizando tecnologia de micro-ondas, a HBO apresentou a luta pelo campeonato de boxe entre Muhammad Ali e Joe Frazier em Manila, via satélite. Seu sucesso levou a HBO a se tornar a primeira na indústria da televisão a usar satélites na transmissão regular de programação (Lopes, 2005).

Entre 1978 e 1982 foram lançados canais para nichos ainda não explorados como esportes pela ESPN, Música pela MTV, notícias pela CNN e conteúdo para população negra com a *Black Entertainment Television*. Nos EUA, CATV ainda é

sinônimo do serviço de TV por assinatura, apesar da sigla não fazer tanto sentido com a solução técnica.

No final da década de 80, a oferta de TV por assinatura via cabo coaxial limitava as operadoras em relação à quantidade de canais ofertados. A solução mais direta seria a troca do cabo por fibra óptica. Entretanto, a troca do cabeamento era uma operação inviável pois a fibra era algo bastante novo e caro. Em 1994 foi desenvolvido uma outra solução, a evolução da técnica de transmissão digital fez com que o cabo coaxial alcançasse novos limites por meio da compressão de vídeo. A *Federal Communications Commission* (FCC) definiu um padrão digital para a televisão de alta definição, assim os operadores de cabo tiveram que enfrentar concorrência, dessa vez de outros sistemas de TV paga, conhecidos como TV a cabo sem fio (*wireless cable*), os sistemas de satélite de transmissão direta (*direct broadcast satellite*, ou DBS; depois inovado para *direct to home*, ou DTH) e os sistemas de distribuição multiponto multicanal (*multichannel multipoint distribution system*, ou MMDS).

Em 1992 e 1993, o serviço de telefonia local foi liberado para atuar no mercado de TV pela FCC. Algumas das restrições contra companhias telefônicas fornecerem serviços de vídeo e possuírem e operarem sistemas de cabo foram suspensas. Nesse mesmo período, o serviço de TV por assinatura foi estabelecido na Europa, Ásia e Oriente Médio (Nascimento, 2014).

3.2.2 No Brasil

Nascimento (2014), ex-Ministro das Comunicações, relata que o primeiro ato regulatório que disciplinou o serviço de TV por assinatura no Brasil foi o Decreto nº 95.744, de 23 de fevereiro de 1988.

Esse decreto definiu a atividade de TV por assinatura como serviço especial de telecomunicações destinado a distribuir sons e imagens a assinantes, por sinais codificados, mediante utilização de canais do espectro radioelétrico, permitida a critério do poder concedente a utilização parcial sem codificação. Atualmente, no Brasil, nos referimos ao serviço como TV por assinatura, PayTV ou TV a cabo (referindo-se ao sistema mais tradicional).

No Ministério das Comunicações, a Norma nº 281/95 modificou a Norma nº 230/91 para exigir que a exploração de serviços de telecomunicações via satélite passasse a depender de prévia concessão, autorização ou permissão, outorgada pelo Ministério de Comunicações.

Até 1996, os serviços de Telecomunicações (telefonia, telegrafia e transmissão de dados) eram prestados exclusivamente pelo Estado. Já em 1988, o Decreto nº 95.744/88, possibilita o início do serviço de TV por assinatura, sob o nome de Serviço de Distribuição de Sinais de TV por Meios Físicos (DISTV), com a permissão, em 1990, da emissão de 96 autorizações para instalação de redes de cabos em 62 cidades do País.

A prestação do serviço de TV por assinatura foi iniciada pelo grupo Abril com a criação da TVA em 1991 via MMDS, quase 20 anos após o surgimento do serviço no mundo.

Em 1997, a ANATEL assumiu a função de órgão regulador de todos os serviços de telecomunicações. As licitações abertas pelo Ministério das Comunicações só foram concluídas em 1998.

Em 2004 a TELMEX entra como acionista da NET SERVIÇOS, ocorre a fusão entre a SKY e a DirecTV. No mesmo ano a TVA inicia a oferta de Voz sobre IP.

3.2.3 Arquitetura de serviço de TV por assinatura

A explicação da arquitetura de um serviço de TV por assinatura, com acesso via satélite ou acesso IPTV, é apresentada na figura 2.

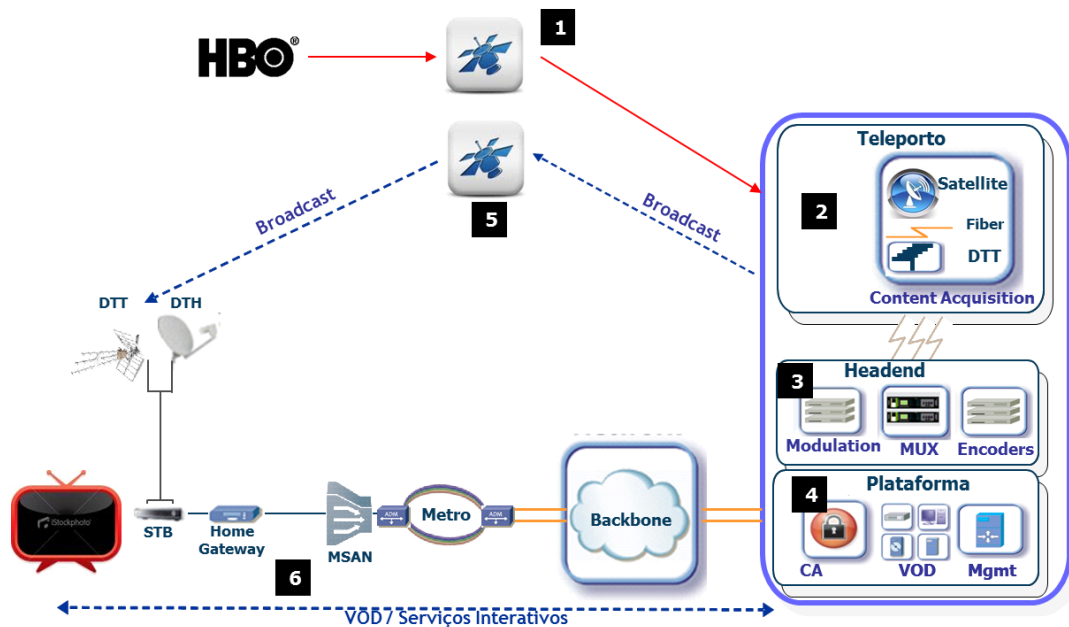


Figura 2 – Arquitetura de TV por assinatura.
Fonte: Autoria própria.

A etapa 1 se refere ao momento que as empresas (Fox, SporTV, HBO) que produzem conteúdo (programas de TV, filmes, transmissão de eventos ao vivo, etc.) disponibilizam seu material via satélite para as empresas de TV por assinatura. Na etapa 2, a operadora de TV, em seu parque de antenas (teleporto), recebe o sinal de vários canais ao mesmo tempo e envia ao *Headend* que na etapa 3, comprime o sinal de todos os canais, ajusta o nível de áudio para que nenhum canal destoe dos outros passando pelo codificador, multiplexador e modulador. A plataforma, descrita na etapa 4, é responsável pela regra de negócio do serviço, realizando a liberação de acesso dos assinantes aos canais e realizando a cobrança de filmes pagos.

Num modelo tradicional de TV por assinatura com acesso via satélite, a operadora de TV seguiria a etapa 5 (figura 2), realizando a entrega do serviço ao

usuário final via satélite. Dependendo do satélite, abrange-se facilmente mais da metade da população do Brasil. Porém, tratando-se de IPTV, o caminho a ser percorrido é o da etapa 6, via rede fechada com base na tecnologia IP, sem disponibilização pública do conteúdo.

3.2.4 Acesso via CABO

Foi sancionado pela presidente Dilma Roussef em 2011, a PLC 116/10, criando cotas de espaço para conteúdo brasileiro nos canais de televisão, abrindo o mercado da TV por assinatura para as empresas de telefonia e eliminando as restrições ao capital estrangeiro em empresas de TV a cabo (Portal do Planalto, 2011).

Normalmente, a tecnologia de acesso via cabo utiliza uma rede híbrida baseada na utilização de cabos coaxiais e cabos ópticos conforme a figura 3. Lembrando que a recepção dos canais pelas operadoras se dá através de Satélite.



Figura 3 – Sistema de distribuição de TV a Cabo.
Fonte: Autoria própria.

Considerando o meio cabo coaxial, o espectro de frequência pode variar de 5MHz a 870MHz. Como os sinais de alta frequência sofrem os efeitos da atenuação e da interferência eletromagnética de forma mais acentuada, a rede de distribuição é construída com base em amplificadores de sinal que possuem maior ganho na faixa de altas frequências. Devido a figura de ruído dos amplificadores, a conexão de vários amplificadores em cascata tende a piorar a relação sinal/ruído do sistema. Portanto, impreterivelmente, os usuários que estiverem posicionados no final da malha coaxial terão um sinal de qualidade inferior aos que se encontram mais perto da fonte do sinal.

3.2.5 Acesso MMDS

O acesso via *Multi-channel Multipoint Distribution Service* se dá via microondas, sendo necessária visada direta entre os *transceivers*. O MMDS é recomendável para regiões de baixa densidade populacional. A banda para *upstream* é de 2,17 a 2,182 GHz, já para *downstream* varia entre 2,5 a 2,68 GHz. O início da utilização desse serviço se deu com a transmissão de canais de TV analógicos nos EUA em 1983, chegando ao Brasil um ano depois. Via MMDS é possível cobrir um raio de até 80Km com um transmissor. A codificação para *downstream* é 64 QAM e para *upstream* é usado o QPSK. A figura 4 ilustra uma arquitetura de solução MMDS (Cecílio, 2008).

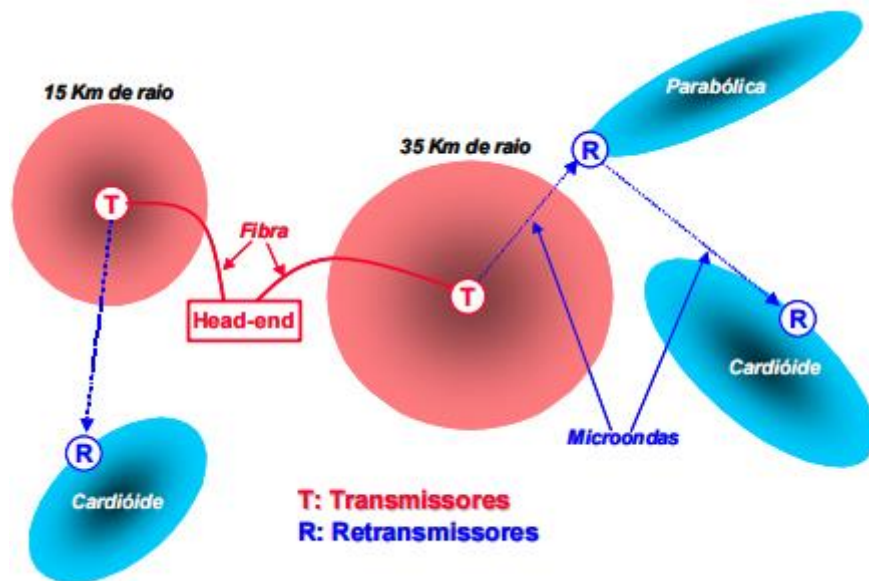


Figura 4 – Arquitetura de solução MMDS.
Fonte: Cecílio (2008).

Pouca garantia de qualidade de serviço e congestionamento de tráfego são as principais consequências para o grande alcance de transmissão e a baixa direcionalidade das antenas transmissoras.

3.2.6 Acesso DTH

O DTH (*Direct to Home*) funciona com o sinal extraído do Head End e enviado por Satélite, normalmente em banda Ku, tendo seu sinal refletido diretamente ao usuário final, que deve receber o conteúdo transmitido através de uma antena.

Um *transponder* em banda C exige do usuário final uma antena maior para receber o sinal do que em Banda Ku. Por outro lado, a banda Ku está mais suscetível à indisponibilidade de sinal por instabilidade atmosférica. A tabela 3 mostra a diferença de frequência entre Banda C e Ku (Huguency, 2003).

Tabela 3 – Comunicação Via Satélite - 2003

-	Banda C	Banda Ku
Frequência de uplink (estação terrena para satélite)	5,850 a 6,425 GHz	14,0 a 14,5 GHz
Frequência de downlink (satélite para estação terrena)	3,625 a 4,200 GHz	11,7 a 12,2 GHz

Fonte: Hugueney(2003).

A solução de um serviço puramente via DTH reduz a construção de meios físicos de transmissão para levar o sinal até o cliente e também viabiliza poucos recursos de interatividade – funcionalidade desejada pelas operadoras de TV.

3.2.7 Acesso IPTV

Utiliza transmissão de dados via IP para o cliente final, sendo necessário um Set-top box para descriptografar os sinais. É o serviço mais completo, com amplo acesso ao cliente, possibilitando inovação em interatividade, funcionalidade nas mais diversas maneiras como smartphone e serviços adicionais. O acesso IPTV utiliza o caminho da etapa 6, descrito anteriormente na figura 2. Este caminho é composto, basicamente, por backbone e rede metropolitana IP, seguido de rede de acesso de par metálico (xDSL) ou fibra óptica (GPON).

3.3 A TÉCNICA ADSL

Os primeiros acessos à internet se deram via conexão por linha comutada (ou dial up) onde se utilizava um modem limitado a uma velocidade de 56,6 kbps.

Devido a necessidade de mercado a tecnologia de acesso evoluiu para disponibilizar maior velocidade, e umas das primeiras evoluções em grande escala foi a tecnologia ADSL. O modo de transmissão que se mostrou com melhor

disponibilidade para altas velocidades e escalabilidade em número de usuários foi o ATM (ao invés do STM), o qual suporta várias classes de tráfego. O padrão de ADSL sobre ATM é definido pelo *American National Standards Institute* (ANSI) na publicação T1.413.

Mas ao contrário do que parece, o ADSL foi originalmente desenvolvido para transportar vídeo digital no formato MPEG2 em circuitos dedicados DS1 com o modo de transmissão conhecido como STM. Somente mais tarde, o transporte IP foi suportado no padrão ADSL.

O padrão ADSL se difundiu muito para a oferta de acesso banda larga à Internet. O primeiro padrão de ADSL pode chegar a até 640 kbps no serviço de upstream e 9 Mbps no downstream. Lançada em 2002, a segunda geração do ADSL (ADSL2) aumenta as taxas de transmissão, através de técnicas de codificação e modulação, atingindo até 1 Mbps upstream e 12 Mbps downstream. O padrão ADSL2+, lançado em 2003, duplicou o espectro para o canal downstream fornecendo até 24 Mbps conforme mostrado na figura 5 (Gianfranco, 2006).

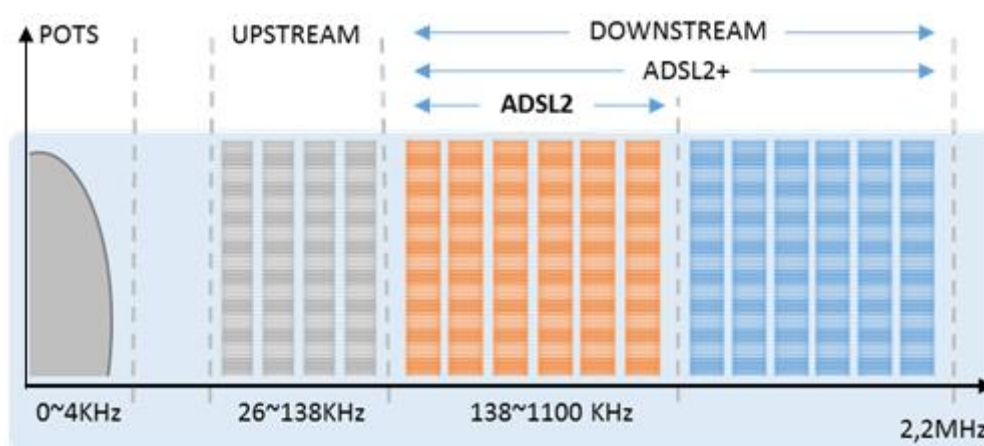


Figura 5 - Frequências em ADSL.
Fonte: Codificação de Sinal (Gianfranco, 2006).

Dentre as aplicações comerciais do ADSL, existem dois tipos de modulação:

1. Modulação CAP (Carrier Amplitude/Phase) com funcionamento baseado em multiplexação por divisão de frequência.
2. DTM (*Discrete Multitone*) - a mais utilizada. Tal técnica divide o espectro em 256 canais com largura de 4,3kHz. Cada canal é chamado de bin e este, por sua vez, é monitorado individualmente. Em caso de falha, as informações são “comutadas” de canal. Como técnica de modulação o ADSL utiliza *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) combinando modulação de amplitude e deslocamento de fase.

3.4 A TÉCNICA VDSL

A evolução das necessidades de consumo cria oportunidade para a oferta de novos serviços. Assim surgiu o VDSL que trabalha com transmissões assimétricas entre 13 e 52 Mbps de downstream e 1,5 a 2,3 Mbps de upstream. Conforme destaca Filho (2009), o padrão VDSL começou a ser desenvolvido em 1995 com projetos paralelos sendo executados para a padronização do mesmo.

Após pesquisas por parte dos órgãos de padronização (ITU, ANSI e ETSI) chegou-se a dois modelos de codificação VDSL:

- Modulação de amplitude em quadratura – QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)
- Multi tom discreto – DMT (*Discrete Multitone*)

Em 2003 foi anunciado o apoio à codificação DMT por parte de onze grandes fornecedores de equipamentos DSL, tanto pela maior facilidade em relação a interoperabilidade quanto pela compatibilidade com as instalações ADSL existentes. Assim, em 2004, começou-se a trabalhar no modelo que utilizamos hoje

(VDSL2), utilizando normas ANSI e ETSI. O palco para o consenso do padrão foi em Genebra, em 2005 (BINGHAM 2000).

Diferente da transição ADSL para ADSL2+, a transição do VDSL para o VDSL2 não se trata apenas da duplicação do espectro e melhoria na densidade de acessos. O VDSL2 pode ser transformado em uma solução de acesso Ethernet fim-a-fim utilizando VLAN (*Virtual Local Area Networks*).

Seguindo a tecnologia “zipper” (pela estética do gráfico) o VDSL utiliza uma técnica duplex digital, assim, sub portadoras adjacentes podem transportar dados em direções opostas conforme Figura 6.

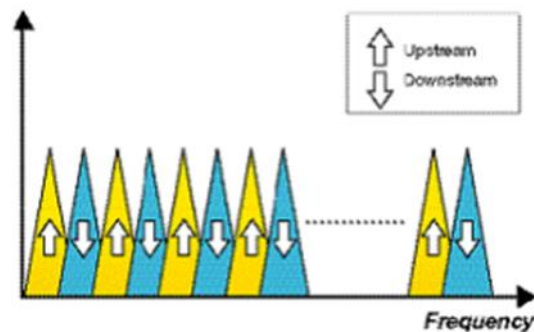


Figura 6 – Tecnologia Zipper.
Fonte: Regime Duplex (Filho, 2009).

Enquanto o VDSL possibilita uma taxa de transmissão de bits até 4x mais que o ADSL, possui problemas em relação à interferência devido a utilização de altas frequências em grandes distâncias o que pode ser contornado substituindo parte da rede metálica por rede de fibra óptica. A utilização do VDSL pode ser compartilhada com tecnologias diferentes existentes hoje: fibra óptica até a calçada (FTTC – *Fiber To The Curb*) e até o prédio (FTTB – *Fiber To The Building*), ficando ao encargo do VDSL os metros finais da última milha.

3.5 A TÉCNICA IPTV

Após quatro anos de tramitação na Câmara e no Senado, longa fase de profundos debates, e com sanção presidencial, o PLC 116/10 (Projeto de Lei da Câmara) entrou em vigor apenas no segundo semestre de 2011. Os principais aspectos da nova lei são: criar cotas de espaço para conteúdo brasileiro nos canais de televisão, abrir o mercado da TV por assinatura para as empresas de telefonia e eliminar restrições ao capital estrangeiro em empresas de TV a cabo.

A oferta do serviço de IPTV se torna interessante para uma empresa de telecomunicações, pois possibilita a oferta de um serviço com demanda crescente que é a TV por Assinatura, que passou 2012 com uma densidade 8,1 para 9,7 acessos para cada 100 habitantes, em 2013, sem maiores investimentos na rede existente. Há também evolução na prestação de outros serviços oferecidos sobre dados, tais como: voz (VoIP – *Voice over Internet Protocol*) e conteúdo de vídeo sob demanda (DUQUE, 2008).

IPTV não deve ser confundida com WebTV. Inicialmente, a WebTV não garante a entrega, segurança ou confiabilidade do sinal disponibilizado. Normalmente esse serviço é utilizado para ofertar demandas específicas como disponibilização de aulas com acesso a download de arquivos. Já IPTV, além de garantir segurança e confiabilidade nos sinais transmitidos, utiliza redes privadas dedicadas, ofertando não apenas áudio e vídeo, mas sim toda a experiência de uma TV por assinatura como grade de canais, guia de programação e vídeo sob demanda (Duque, 2008).

A infraestrutura de transporte é normalmente compartilhada com a infraestrutura necessária para disponibilizar o serviço de dados. Para a oferta do serviço de vídeo, a operadora pode ou não interferir na banda de internet. Por

exemplo: o cliente assina 100 Mbps, e instala 2 pontos de IPTV. Ao sintonizar os dois pontos, sua velocidade de navegação pode diminuir para 80 Mbps considerando a banda de cada canal a 10 Mbps. Outra opção é oferecer ao cliente um pacote extra de dados. Como o serviço de TV pode ser ofertado numa VLAN específica, é possível alocar uma banda apenas para conteúdo de vídeo. Dessa maneira, a velocidade de navegação na internet não seria afetada pelo serviço de IPTV.

3.5.1 Arquitetura

A arquitetura de uma rede IPTV, representada pela figura 7, é formada basicamente por: headend, core IP, rede de acesso, e ambiente de usuário. As funções de cada um destes componentes são apresentadas no diagrama da Figura 6 e descritas na sequência.

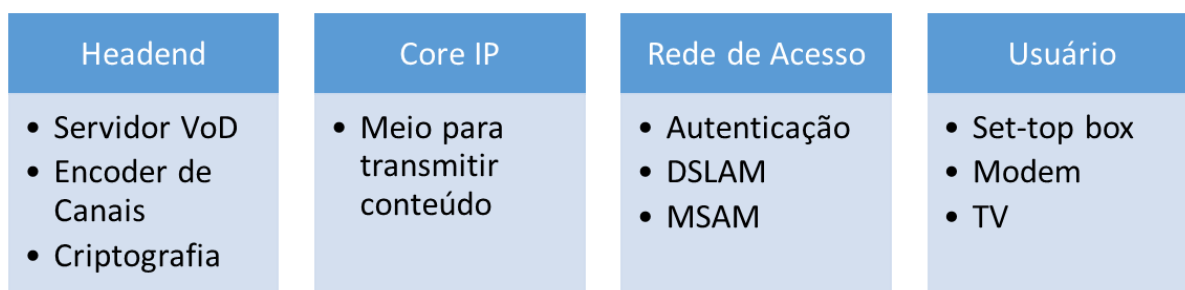


Figura 7 – Arquitetura básica IPTV.

Fonte: Autoria própria.

3.5.1.1 Headend

Representa o início do conteúdo de vídeo, tanto para conteúdo linear (canal de programação), quanto para não linear (conteúdo sob demanda e filmes).

A composição de equipamentos do *Headend* pode variar bastante conforme, entre outros elementos, o foco do produto, codificação escolhida, disponibilidade de banda no *backbone*.

Uma das primeiras soluções para codificação de vídeo foi a norma MPEG2. A mais recente norma é a MPEG4 com indicação para oferta de IPTV.

3.5.1.2 Core IP

A rede *Core IP* é responsável por transportar o conteúdo disponibilizado no *Headend* até a Rede de Acesso. A operadora pode escolher gerar um tráfego fixo, tecnicamente explicado como “*join fixo*”, por toda rede com o conteúdo do *Headend* a fim de agilizar o acesso ao conteúdo por parte do assinante e de não gerar sobrecarga no processamento dos servidores centrais com requisições dos equipamentos dos usuários.

3.5.1.3 Rede de Acesso

A rede de acesso pois, de fato, é a parte da rede responsável por ser a ligação entre a operadora e o cliente. Essa conexão pode ser realizada utilizando-se de diversas tecnologias, sendo as mais utilizadas a VDSL com sua estrutura metálica e a PON (*Passive Optical Networking*) estruturada em fibra óptica.

O DSLAM (*Digital Subscriber Access Multiplexer*) é o equipamento usado na rede de telecomunicações, servindo como um concentrador das linhas de acesso de par metálico e como interface entre a rede de acesso e a rede IP. As operadoras utilizam, em quase totalidade dos equipamentos, saída Ethernet e não mais ATM (ANTUNES, 2002). Segue abaixo um exemplo de DSLAM na Figuras 8 e 9.



Figura 8 – Placa de serviço nas laterais e placa de gerencia ao centro.
Fonte: Zhone (2016).

O MSAN (*Multi-Service Access Node*) é um equipamento com funções bastante parecidas ao DSLAM, com a diferença de agregar todos os tipos de serviços (xPON, xDSL, IPTV, VOIP, etc), além da mudança de conceito de equipamento, com barramento de maior capacidade, placas redundantes, classificação do tipo de tráfego, e demais itens referentes aos serviços disponíveis atualmente.



Figura 9 – MSAN ALCATEL 7360.
Fonte: Alcatel (2016).

3.5.1.4 Usuário

Usualmente é chamada de rede de acesso a composição de equipamentos desde o DSLAM até a casa do cliente, contemplando os equipamentos para disponibilizar o serviço. Nesse trabalho consideraremos como Usuário a parte do cliente.

Pode ser disponibilizado um Modem/ HG (Homegateway) com tecnologia xDSL/ GPON para entregar acesso internet.

O set-top box é o elemento, que incorporado ao Modem/ HG entrega o serviço de TV por assinatura, e com a necessidade de rápida seleção de conteúdo por parte do usuário, definiu-se a utilização de multicast para distribuição de canais. Já como protocolo de gestão de grupos, foi escolhido o IGMP (*Internet Group Multicast Protocol*). Deste modo, o set-top box utiliza basicamente três conceitos:

- *Join*: sintonização de Canal.
- *Leave*: dessintonizar o Canal.
- *Query*: informa quais as solicitações foram efetuadas pelo cliente – garante os comandos *join* e *leave*.

Utiliza-se também o protocolo RTP (*Real Time Transport Protocol*) por possuir menor overhead e maior adaptabilidade da qualidade para disponibilização de conteúdo sob demanda.

4 TESTES DE TECNOLOGIA

Este tópico relata testes de desempenho para distribuição de vídeo sobre rede core IP e rede de acesso VDSL. Em alguns testes, o desempenho da rede VDSL foi comparado ao de uma rede GPON.

Estes testes tiveram como objetivo fornecer uma visão de como a distribuição de vídeo se comporta na rede usando alguns itens de medição, tais como:

- Jitter;
- Perda de pacotes;

4.1 AMBIENTE DE TESTES

Os testes ocorreram em ambiente real de operação de uma operadora de telecomunicações em Curitiba em parceria com um fornecedor coreano, com rede e DSLAM tanto em tecnologia GPON quanto em VDSL, conforme a figura 10 exemplifica. A fonte do sinal de teste foi um *encoder* de áudio (MPEG2) e vídeo (MPEG4) com taxa de saída em torno de 8,5 Mbps. Para cada etapa de medição, conforme exemplificado abaixo na figura 10, foram utilizados diferentes períodos de tempo para cada ponto, com tráfego de dados não sendo comum. Os testes duraram 5 dias e geraram um total de 1,46 Terabits.

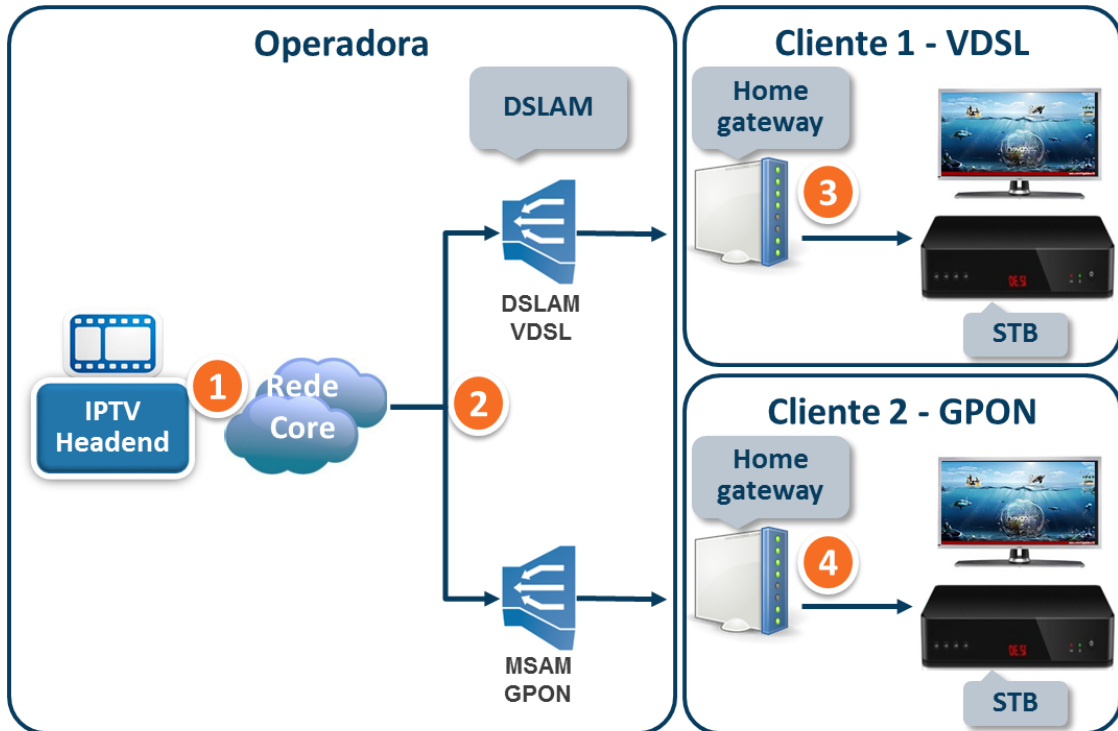


Figura 10 – Diagrama de arquitetura para testes.
Fonte: Autoria própria.

Ponto de Medição 1 – refere-se à saída do sinal do sistema de compressão de áudio e vídeo, chamado de Headend. Nesse momento o sinal acaba de ser codificado, MPEG4 para vídeo e MPEG2 para áudio.

Entre os pontos 1 e 2 está representado na figura 10 uma parte comum ao serviço que é a rede principal (rede core/backbone). Essa rede é constituída de roteadores de distribuição e roteadores de agregação, os quais agregam várias DSLAMs. Todas as conexões de rede entre os pontos 1 e 2 são realizadas por fibra óptica.

Ponto de medição 2 – refere-se à chegada do sinal ao DSLAM e trata-se de um ponto comum às duas tecnologias (GPON e Metálica). A distância entre os pontos 1 e 2 é a maior distância percorrida pelo sinal transmitido, podendo variar centenas de quilômetros. No caso da rede utilizada para os testes realizados, a distância entre os pontos 1 e 2 era de 30 quilômetros.

Após a chegada do sinal ao DSLAM, foi necessário trabalhar com duas redes paralelas para realizar a comparação entre uma rede metálica e uma rede de fibra óptica.

Ponto de Medição 3 – refere-se à saída do sinal após o HG (Homegateway). Esse equipamento é instalado no ambiente do cliente, e está conectado a um DSLAM tipo metálico (VDSL). Neste caso, a conexão entre o DSLAM e o HG foi feita através de cabo metálico (par trançado) tipo CTP-APL com condutores de diâmetro 0,40 mm. A linha utilizada foi sincronizada com serviço de 15 Mbps e estava a uma distância de aproximadamente 2 km do DSLAM.

Ponto de Medição 4 – refere-se à saída do sinal após o HG (Homegateway). Esse equipamento é instalado no ambiente do cliente, e está conectado a um DSLAM tipo fibra óptica (GPON). A linha utilizada foi sincronizada com serviço de 15 Mbps e estava a uma distância de aproximadamente 2 km do DSLAM.

4.1.1 Análise de perda de pacotes RTP

Neste capítulo, pretende-se fornecer uma visão geral sobre como os pacotes são perdidos em ambas as redes. Isso vai ajudar a entender o que pode ser feito para melhorar a qualidade do serviço IPTV.

O protocolo RTP (*Real Time Protocol*), utilizado para o transporte de mídias lineares em tempo real, é um overhead acima do UDP (User Datagram Protocol) (Mavrogeanes, 2016). Esse overhead tem as seguintes funções:

- Contar o número de pacotes perdidos;
- Contar a quantidade de pacotes fora de sequências;
- Seguir fluxo único;
- Corrigir o fluxo em caso de perda de pacotes ou pacotes fora de seqüência;

Qual é o impacto da perda de pacotes RTP?

Cada pacote RTP pode transportar vários dados, tais como: vídeo, áudio e dados de controle de fluxo. Os sintomas para perda de pacote na transferência do serviço de TV podem ser:

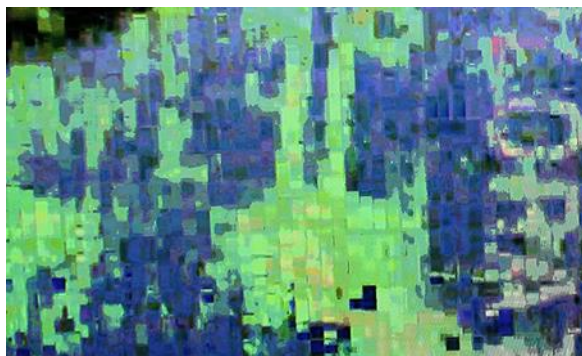
- Macroblock – Usualmente referido por linearização de informação em blocos individuais de 16x16 pixels (Figura 11);
- Pixelização – Quando a imagem parece ser formada por grandes pixels (Figura 12):
- Problema para troca de canal devido à falta de PAT (Program Association Table) e ou PMT (Program Map Table);
- Em caso de perda em massa, haverá interrupção do frame (Figura 13);
- Comportamento estranho do Set-Top Box, tais como: reinicialização, e travamento.



**Figura 11 - Efeito de macroblock.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 12 - Pixelização de imagem.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 13 – Efeito de interrupção de frame.
Fonte: Autoria própria.**

O que pode ser feito para limitar a perda de pacotes?

Pacote RTP é único, ou seja, não existirá outro igual na rede. Por esta característica é possível identificar o mesmo e realizar algumas ações, tais como:

- Recuperar as informações de perda com FEC;
- Solicitar a retransmissão dos pacotes perdidos para um servidor RTP;

Análise de resultados experimentais e impactos:

Na Figura 14 apresenta-se os resultados dos testes de perda e recuperação de pacotes para os acessos VDSL e GPON. Pode-se verificar que a perda de pacotes em GPON é bem menor do que a linha VDSL. A base de transmissão gerou um total de 31600 pacotes e obteve-se os seguintes valores de perda de pacotes:

- Linha VDSL: 1106 pacotes perdidos, refletindo 3,5% do total recebido.
- Linha GPON: 2 pacotes perdidos, refletindo 0,006%.

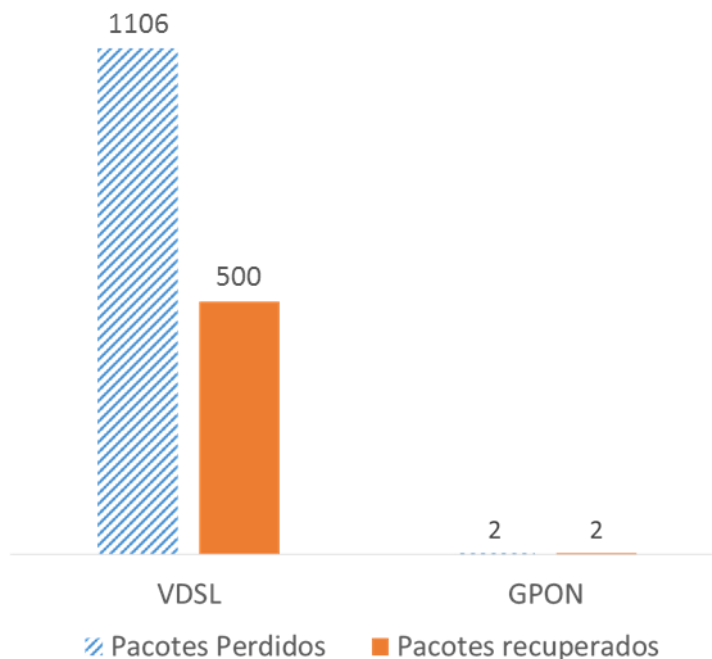


Figura 14- Perda de pacotes.
Fonte: Autoria própria.

Pode-se verificar, a partir da Figura 14, que foi possível recuperar quase 50% dos pacotes perdidos no acesso VDSL. FEC baseado em 10 pacotes podem corrigir cerca de 75,8% dos problemas de perda de pacote. Porém, impacta num acréscimo de 10 a 20% na banda por canal transmitido. Considerando uma linha de canais de 1 Gbps, o FEC causaria mais 200 Mbps no backbone da rede.

A perda contínua de pacotes implica um problema de rede. Em geral, isto terá impacto nos servidores que farão a gestão dos pedidos de reenvio de pacote, caso a solução seja via “RTP Retry”. Com muitas chamadas, os servidores terão dificuldades para balancear os pedidos ou até mesmo não conseguirão enviar os pacotes a tempo de serem corrigidos.

Realizou-se testes adicionais para verificar o limite máximo de perda aceitável para a continuidade do serviço.. Encontrou-se um limite de 5% de perdas de dados, a partir do qual o decoder fica impossibilitado de interpretar de maneira sequencial as informações de áudio, vídeo e criptografia, e passa a exibir tela preta.

Todos os resultados dos testes acima relatados indicam que as duas tecnologias (VDSL e GPON) estão aptas a oferecer o serviço de IPTV, desde que seja respeitado o limite máximo de perda.

4.1.2 Análise de comportamento de Jitter

Neste tópico será mostrado a diferença na forma como os pacotes estão chegando nos STBs entre ambas as redes.

Jitter é a variação do atraso do intervalo de chegada dos pacotes, servindo como ferramenta de diagnóstico de desempenho da rede. O Jitter é tratado pelos buffers dos STBs, e o ideal é que seu valor seja constante.

Qual o Impacto?

Os pacotes devem chegar para os STBs de uma forma estável.

- Se o Jitter for mais alto do que o esperado, significa que o buffer vai sofrer com o encaixe de pacotes perdidos e pacotes de perda no nível de buffer. O impacto é pixelização, macroblocking e eventual interrupção.
- Se o Jitter for mais baixo do que o esperado, significa que os pacotes estão vindo rápido demais para o buffer, e irá sofrer com excesso de pacotes, ocorrendo o descarte de alguns. O impacto é pixelização, macroblocking e eventual interrupção.
- Se o Jitter é instável com aumentos e diminuições de tempo, o buffer terá que lidar com este tráfego e isso pode levar a perda de pacotes. Os impactos são os mesmos que os dois pontos acima.

Como limitar esses impactos?

- Visando a fonte: Os emissores do sinal podem ser os responsáveis pelos problemas na geração dos pacotes, isso é algo possível de evitar;
- Visando a rede: Habilitar QoS em toda a rede para priorizar fluxos de IPTV;
- Visando o cliente:
 - Aumentar o tamanho dos buffers nos STBs. Com isso, aumenta-se a latência, o tempo de zapping, e o atraso em relação ao sinal original;
 - Habilitar QoS no gateway na casa do cliente.

Análise de resultados e impactos

Foram comparados os resultados de ambas as tecnologias de acesso, com a utilização durante 3 dias do serviço de vídeo, e podemos ver na Figura 15, que a média de Jitter do VDSL é um pouco maior que a média de Jitter da linha GPON.

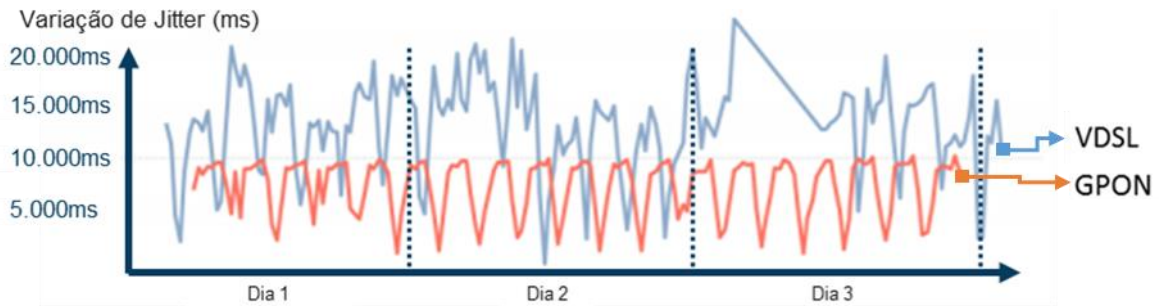


Figura 15 - Média de Jitter ao longo do tempo.
Fonte: Autoria própria.

É possível verificar que na variação média, podemos obter pouco mais de 20.000ms de Jitter na linha VDSL. Já na análise da Figura 16, o valor máximo simples pode chegar a até 120.000ms. Normalmente, o Jitter deve ser o mais próximo possível do valor de Jitter do Head-End, que tende a zero.



Figura 16 - Máximo de Jitter ao longo do tempo.
Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Análise de Head-End

Durante o período de medição em que foram instalados todas as probes, não foi observada nenhuma perda de pacotes RTP e pouco Jitter.

A coleta de dados foi realizada após a etapa de criptografia do sinal pois os equipamentos que realizam a criptografia também podem causar degradação de sinal.

4.1.4 Comportamento do Jitter ao longo da rede

O objetivo desta análise é mostrar de forma clara a diferença nos valores de jitter medidos através de toda a rede. Foi realizada a análise de jitter nos pontos 1, 2, 3 e 4 da Figura 10. Os gráficos da Figura 17 exibem o jitter médio, máximo e mínimo em cada ponto de medição.

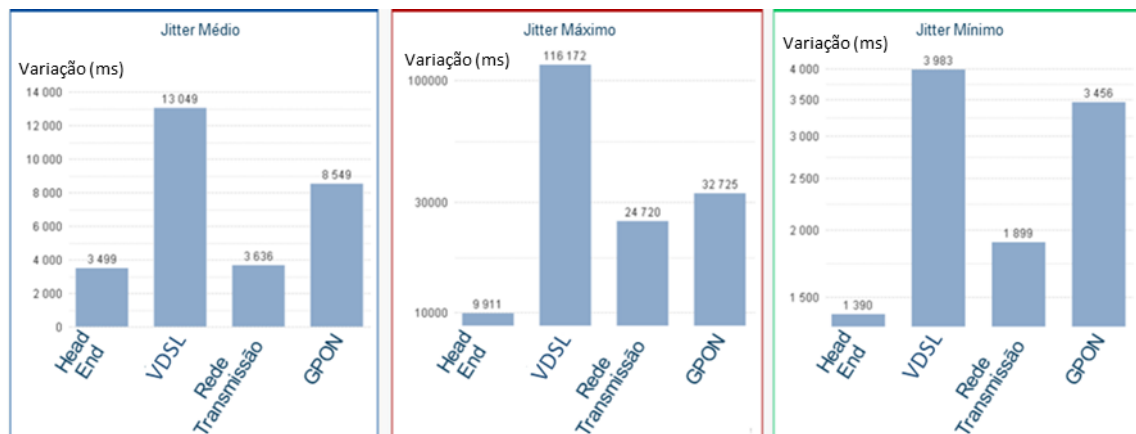


Figura 17 – Comparação de resultados do Jitter ao longo da rede.
Fonte: Autoria própria.

Os resultados demonstram claramente que o maior aumento no jitter ocorre na última milha (rede de acesso VDSL/ GPON). Embora tenham sido identificados valores elevados de Jitter (~100ms) não foi notado subjetivamente nenhum macrobloco ou pixelização.

Mesmo com uma análise ao longo do tempo na figura 18, diferente da análise da figura 17, não foi observada nenhuma perda de pacotes RTP e pouco Jitter na rede até a entrada do DSLAM.

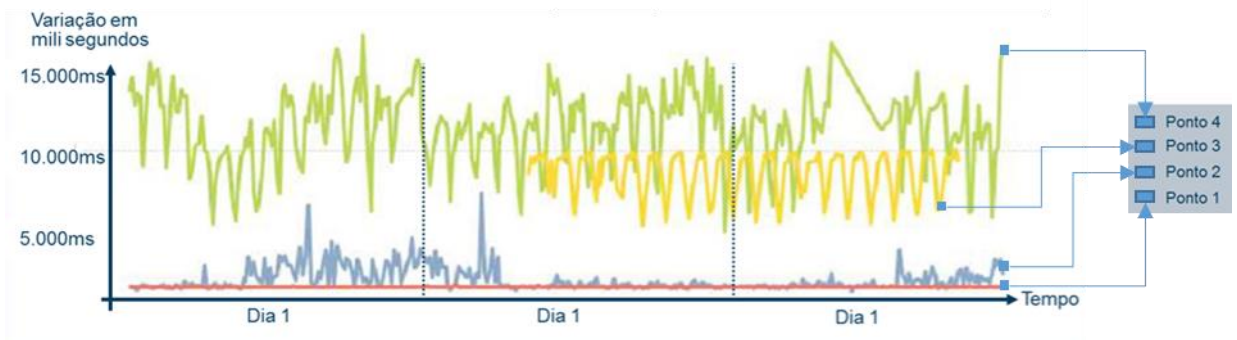


Figura 18 – Comparação do Jitter Médio ao longo da rede.
Fonte: Autoria própria.

5 IPTV EM ACESSO xDSL e GPON

5.1 LIMITAÇÕES TÉCNICAS DO xDSL E VANTAGENS DO GPON

O cenário de distância versus velocidade é um cenário que complica a oferta e a manutenção da rede xDSL. Quanto maior a distância do DSLAM, mais problemática fica a rede, considerando a degradação do sinal, pois no caso de transmissão ao vivo, não é possível gerar buffer para que o usuário não sinta a perda de dados. Muitas vezes, quando alguém navega na internet e um link não entra, basta clicar novamente e o conteúdo é recarregado. No caso do conteúdo ao vivo, ao contrário, o cliente vai perceber ausência ou deficiência no serviço de vídeo.

Outro ponto importante é a sensibilidade a ruídos do par metálico na disponibilidade dos serviços de uma empresa de telecomunicações. De qualquer maneira, mesmo que fosse viável retransmitir os pacotes, isso iria gerar sobrecarga nos nós da rede core IP devido a maior demanda para retransmissão de pacotes.

Não raro, a ocorrência de sobretensões no par metálico devido a raios e surtos da rede elétrica geram problemas tanto na casa do cliente como do lado da operadora, existindo a possibilidade de queima de equipamentos. Estas sobretensões podem queimar o par metálico, modems e placas na DSLAM.

Entre as inúmeras vantagens do uso de fibra óptica, no caso de acesso GPON, estão: imunidade à interferência eletromagnética, não conduz eletricidade evitando queima de equipamento tanto do lado do cliente quanto do lado da operadora, e a baixa perda. Em contrapartida, apresenta um impacto no custo, como veremos na sequência.

5.2 COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE ACESSO xDSL E GPON

Uma questão fundamental para que uma operadora de telecomunicações opte pela oferta de serviço IPTV com tecnologia de acesso xDSL é o custo de implantação e operação deste tipo de rede.

Conforme estudos de Oliveira (2014), para realizar o atendimento de 160 clientes distribuídos num condomínio de dois prédios, as tabelas 3 e 4 comparam o custo entre GPON e metálica.

Tabela 4 – Custo em Rede GPON

Descrição	Custo (R\$)
Total de Custos na Central	25.387,41
Total de Custos na Rede	23.202,00
Custo do Equipamento ONT	72.843,20
Total de Custos no Condomínio	38.461,58
Total	159.894,19

Fonte:Oliveira (2014)

Tabela 5 – Custo em Rede VDSL

Descrição	Custo (R\$)
Total de Custos na Central	43.200,00
Total de Custos na Rede	78.920,00
Custo Modem ADSL	8.000,00
Total de Custos no Condomínio	1.600,00
Total	131.720,00

Fonte:Oliveira (2014)

Considerando os custos finais apresentados nas tabelas 4 e 5, é possível calcular o custo por cliente em cada tecnologia:

$$\text{Custo por cliente} = \text{Total de Custo} / \text{Qtd de Clientes}$$

Portanto, teremos:

$$\text{Custo por Cliente} = 159.894,19 / 160 = 999,33, \text{ para Rede GPON}$$

$$\text{Custo por Cliente} = 131.720 / 160 = 823,25, \text{ para Rede Metálica}$$

A partir desse cálculo, pode-se dizer que o custo de implantação de uma rede de acesso VDSL tende a ser menor do que o custo de uma rede GPON para uma baixa densidade de usuários por DSLAM, como ilustrado na Figura 19.

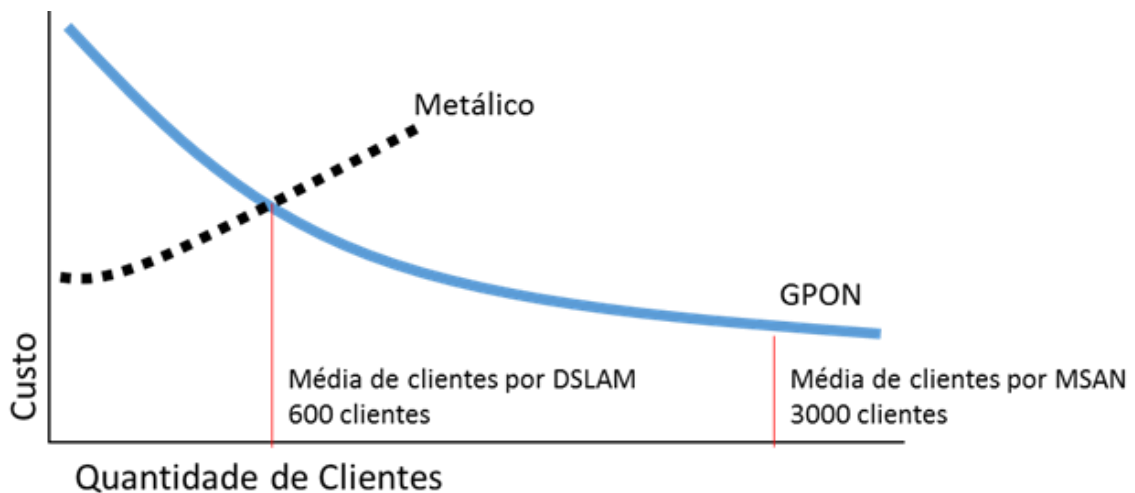


Figura 19 – Relação de custo Metálico (VDSL) vs GPON.
 Fonte: Autoria própria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho envolveu o estudo da viabilidade da oferta do serviço de IPTV através de redes de acesso xDSL e GPON. Foram estudadas as características do serviço, história e tecnologias de TV por assinatura. Foram realizadas pesquisas sobre tecnologias de transmissão como ADSL, VDSL e GPON, analisando-se o estado atual das regulamentações em telecomunicações para entender as limitações da demanda do serviço às operadoras.

Percebeu-se que a evolução tecnológica, principalmente no que se refere à transmissão (rede lógica e física), está disponibilizando maior banda para maiores distâncias com menores perdas e ruídos, principalmente como o uso de redes de fibra óptica (GPON). Entretanto, esta tecnologia demanda equipamentos novos e mais caros do que sistemas xDSL, tanto do lado do cliente (modem/ CPE) quanto do lado da operadora (MSAN).

Conforme estudos realizados neste trabalho, o VDSL, muito utilizado atualmente, consegue atingir velocidades de até 50 Mbps com distâncias bastante reduzidas (cerca de 500m do DSLAM). Conforme testes realizados com redes e clientes reais, o serviço se mostrou bastante estável para os padrões atuais de transmissão de IPTV. Muito importante para a rede é o papel do QoS na priorização de fluxos de IPTV.

Com relação aos testes comparativos entre as tecnologias VDSL e GPON, ficou clara a melhor qualidade da tecnologia GPON, a qual apresentou menor perda de pacotes e menor jitter.

Comparando os custos apresentados quanto a instalação, é válido afirmar que para a rede legada em VDSL, com aplicação de QoS, é possível oferecer os serviços de IPTV sem grandes problemas. Apesar dos testes terem mostrado a

superioridade da Fibra em relação ao xDSL quanto à disponibilidade de serviço, o xDSL, com suas limitações de distância, é bastante viável para implementação.

O nível de conhecimento em tecnologia dos consumidores do serviço de TV aumentou, e além de saberem o que é fibra óptica, associam fibra, corretamente, como sinônimo de qualidade para o tráfego de dados. Tanto que muitas empresas estão voltando seu investimento em redes novas baseadas em fibra óptica. Para se ter uma ideia, o limite de uma porta de dados do MSAN é de 2,5 Gbps. O que significa que essa velocidade poderá ser disponibilizada a um cliente, embora as placas de rede de computadores não suportem essa banda por enquanto.

7 REFERÊNCIAS

AGILENT TECHNOLOGIES, **Biblioteca online**. Disponível em:

<<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-6143EN.pdf>> Acesso em 12 de abr. 2016.

ALCATEL PRODUCTS, **7360 FX**. Disponível em < <https://www.alcatel-lucent.com/products/7360-isam-fx>>. Acesso em 17 mai. 2016.

ALECRIM, Cassio. **Tabela Completa de Resoluções de Tela**. 18 abr. 2013.

Disponível em: <<http://www.proscreenvideo.com/2013/04/tabela-completa-de-resolucoes-de-tela.html>>. Acesso em 23 jun. 2016.

ANTUNES, Gonçalo. **Sistemas de Telecomunicações**. 01 nov. 2004. Disponível em:

<http://www.img.lx.it.pt/~mpq/st04/ano2002_03/trabalhos_pesquisa/T_2/cap2.htm> Acesso em: 10 jun. 2016.

BAPTISTA, Eduardo. **Sinal de vídeo**: NTSC, PAL, SECAM 2012. Disponível em:

<http://www.fazendovideo.com.br/vtart_058.asp> Acesso em: 04 jun. 2016.

BELLIS, Mary. **Television History**. 03 fev. 2016. Disponível em:

<<http://inventors.about.com/od/germaninventors/a/Nipkow.htm>> Acesso em: 07 jun. 2016.

BINGHAM, John A. C. **ADSL, VDSL and Multicarrier Modulation**. California, John Wiley & Sons, 2000.

CECÍLIO, Edmundo Lopes. **Acesso residencial em banda larga**. Rio de Janeiro, 2008. 33 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Programa de Pós-Graduação em Informática - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

DUQUE, Luciano Henrique. Teleco. **IPTV: Uma Oportunidade de Oferta de Serviço de TV Paga**. 17 nov. 2008. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialiptvpay/pagina_1.asp> Acesso em 12 mai. 2016.

ERICSSON LAB, Research blog. **TV AND MEDIA 2014**. 01 set. 2014. Disponível em <<https://www.ericsson.com/res/docs/2014/consumerlab/tv-media-2014-ericsson-consumerlab.pdf> />. Acesso em 22 abr. 2016.

FILHO, Huber Bernal. Teleco. **Tutorial VDSL**. 10 ago. 2009. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialvdsl>> Acesso em 04 mai. 2016.

FINK, Donald G.. **TELEVISION STANDARDS AND PRACTICE**: Selected Paper from the Proceedings of The National Television System Committee and Its Panels. California, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, 2006.

FOIGEL, Jonio. Teleco. **DSL e suas Evoluções**. 22 jan. 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/emdebate/joniofoigel01.asp>> Acesso em 10 de abr. 2016.

HUGUENEY, Carlindo. Teleco. **Comunicação Via Satélite**. 10 fev. 2003. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/default.asp> > Acesso em 10 de abr. 2016.

LOPES, Artur Louback. Quando surgiu a TV a cabo?. **Mundo estranho**. São Paulo, v. 1, n 44, out. 2005

MAVROGEANES, Rich. **UDP, TCP, RTP, RTSP, RTMP, Unicast, Multicast**. 23 fev. 2016. Disponível em: < <http://www.discovervideo.com/udp-tcp-rtp-rtsp-rtmp-unicast-multicast-sheesh/>> Acesso em 28 mai. 2016.

MENEZES Amanda Abreu, et al. Teleco. **Tutorial QoS QoE**. 18 ago. 2008. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosqoe/>> Acesso em 24 mai. 2016.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, **Programa nacional de Banda Larga (PNBL)**. Disponível em: <www.mc.gov.br/programa-nacional-de-banda-larga-pnbl> Acesso em 19 abr. 2016.

MUNCINELLI, Gianfranco. Teleco. **Tutorial ADSL: ADSL – serviço ou tecnologia?**. 16 out. 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialadsl>> Acesso em 29 mar. 2016.

NASCIMENTO, Juarez Quadros do. Teleco **TV por Assinatura: Histórico e Evolução**. 14 jul. 2014. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvassinatura/pagina_2.asp> Acesso em 30 mai. 2016.

OLIVEIRA, Patrícia Beneti de. Teleco. **Tutoriais Redes Ópticas: Soluções de Atendimento em Fibra Óptica II**, 28 jul. 2014 . Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo2/default.asp>> Acesso em 30 mai. 2016.

PALÁCIO DO PLANALTO. **Presidenta da República, Dilma Rousseff, sanciona PLC 116/2010**. 21 mar. 2014 Disponível em:

<<http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-o-planalto/notas-oficiais/notas-oficiais/presidenta-da-republica-dilma-rousseff-sanciona-plc-116-2010>>. Acesso em 12 mai. 2016

TOLEDO, Adalton Pereira de. **Redes de Acesso em Telecomunicações**. São Paulo, Makron Books, 2001.

ZHONE NEWS, **Technologies Raptor DSLAM**. Disponível em <<http://www.zhone.com/about/news/2004/gvt-raptor.en-us>>. Acesso em 17 mai. 2016.