

## Redução do tempo de zapping em serviços IPTV sobre redes GPON utilizando vídeos escaláveis

Marcos P. Mokarzel<sup>1</sup>, Sandro M. Rossi<sup>1</sup>, André B. Sassi<sup>1</sup>, Mônica L. Rocha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Diretoria de Redes Convergentes – CPqD - Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações  
Rod. Campinas – Mogi-Mirim (SP-340), Km 118,5 – 13086-902 – Campinas – SP – Brasil

<sup>2</sup>EESC - Escola de Engenharia de São Carlos – USP - Universidade de São Paulo – São Carlos – SP – Brasil

mokarzel@cpqd.com.br, sandro@cpqd.com.br, asassi@cpqd.com.br, mlrocha@sc.usp.br

**Abstract.** *This paper proposes the coding and transmission scheme for IPTV in GPON that reduces the zapping time to values smaller than one frame time. The study was based on the scalable SNR proposed in MPEG-2 standard and can be easily ported to other standards like FGS in MPEG-4. Transport uses GPON multicast feature beside IGMP protocol. This work assumes that the IPTV subscriber will accept low video quality, at the zapping moment, that will increase progressively. Comparative graphics show the quality increase along the time between zapping, low quality video starting and the progressive quality improve up to stability in full quality.*

**Resumo.** *Este artigo propõe um esquema de codificação e transmissão de IPTV em redes GPON que reduz o tempo de zapping, podendo chegar ao tempo de recuperação de um frame. O estudo foi baseado na codificação escalável em SNR proposta no padrão MPEG-2 e pode ser facilmente portado para outros padrões de codificação como o FGS do MPEG-4. O transporte utiliza a característica multicast das redes GPON além do protocolo IGMP. Este trabalho pressupõe que o assinante de IPTV aceita uma qualidade de vídeo inferior, no momento do zapping, que aumenta com o decorrer do tempo. O aumento da qualidade é ilustrado por curvas comparativas que mostram os tempos entre a mudança do canal, a entrada dele em baixa resolução e a melhora progressiva até a estabilidade em qualidade plena.*

### 1. Introdução

Com a padronização das redes ópticas de acesso passivas (PON, *Passive Optical Network*), em particular a GPON (*Gigabit PON*) [ITU-T G.984], que viabilizam o atendimento de assinantes residenciais por meio de fibras ópticas [Koonen 2006], uma nova gama de serviços com requisitos especiais de largura de banda, atraso e *jitter* como, por exemplo, vídeo sobre demanda, jogos on-line (já viáveis nas redes *xDSL* e *Cable*, mas melhorados com as redes PON) e IPTV passou a ser impulsionada. Estes serviços, por sua vez, justificam o investimento nesta nova rede [Frigio 2004].

Dentre estes serviços, o IPTV é considerado o de maior apelo comercial, por possibilitar que um número maior de canais em alta definição sejam providos, quando

comparado com os sistemas CATV (*Community Antenna Television*). Em ambos os sistemas, a banda disponível é limitada, porém, em IPTV, somente o canal assistido é enviado para o assinante, enquanto que no CATV todos os canais estão sempre presentes no STB (*Set Top Box*) (ocupando banda). Além disto, em IPTV a banda pode ser adaptada à necessidade do canal em tempo real.

Outra característica importante do IPTV é que os canais podem trafegar por praticamente qualquer rede, que suporte os protocolos IP. Desta forma, os assinantes podem assistir aos canais, não apenas em um aparelho de televisão ligado a um STB, mas também em computadores, PDAs e telefones celulares.

O grande inconveniente dos sistemas de provimento de TV digital, que é acentuado nos sistemas IPTV, é o tempo necessário para a troca de canal (*Channel Zapping Delay*). Como foi mostrado em [TR-126 2006] este atraso pode chegar a 10 segundos, enquanto que o limite empírico considerado aceitável é abaixo de 2 segundos. Este atraso é composto por um conjunto de atrasos, que podem ser divididos em três grupos: os atrasos da rede, o atraso de *buffer* de *dejittering* e o atraso de descompressão causado pela espera de um quadro âncora "I" [ITU-T H.262].

A fim de resolver este problema, algumas propostas têm sido defendidas. Por exemplo, em [Ikeda 2007] é proposto um sistema limitado a 100 canais de 10Mb/s cada totalizando um *streaming* de 1Gb/s, que deve ser transportado na íntegra até a ONU. Segundo o sistema proposto, é possível selecionar o canal em 10ms, porém atrasos por *buffer* e descompressão não foram levados em conta. Este processo tem grande custo e não apresenta vantagens significativas sobre os sistemas atuais de CATV.

Cho C. *et al.* [Cho 2004] propõe o envio dos canais adjacentes ao assistido pelo assinante até o STB, desta forma, se o assinante solicitar um deles, o atraso será mínimo pois os canais já estarão disponíveis. Entretanto, será necessário enviar os canais adjacentes na resolução final, ocupando banda em excesso.

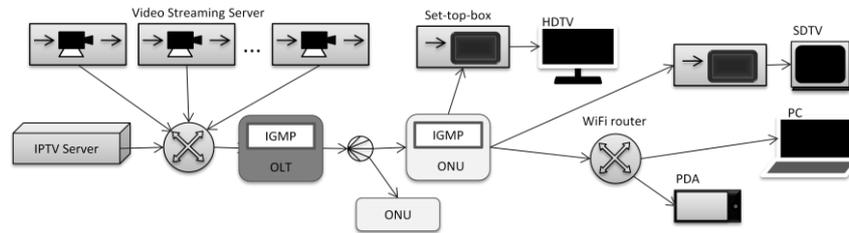
Este trabalho está dividido da seguinte forma: Na seção 2, é apresentada uma topologia para prover o serviço IPTV em rede GPON e é discutido o mecanismo de transporte do vídeo usando os protocolos de *multicast*. Na seção 3, a proposta de transmissão dos vídeos escaláveis, em quatro resoluções usando *streams multicast* distintos é apresentada. Na seção 4, são apresentados os resultados de um experimento de prova de conceito. Na seção 5, são discutidos o funcionamento, as vantagens e desvantagens do sistema proposto. Por fim, na seção 6, são colocadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros que complementam o artigo.

## 2. Topologia da rede para prover serviço IPTV em rede GPON

A figura 1 ilustra uma rede GPON para prover o serviço IPTV. O sistema conta com dois tipos de servidores, o 'IPTV Server' que é responsável pelas informações sobre os canais, incluindo o endereço de *multicast*, para onde o STB enviará as mensagens IGMP (*Internet Group Management Protocol*) *Join* e *Leave*, e o 'Video Streaming Server', que é responsável por prover os *streams* de vídeo.

Ambos os servidores estão conectados à OLT (*Optical Line Terminal*, localizada na central), através de um agregador que pode ser composto por um ou mais *Switches* ou Roteadores. Através de uma rede óptica passiva, cada OLT é conectada a até 128 ONUs (*Optical Network Units*, localizada no assinante). Tanto na ONU quanto na OLT,

existem filtros IGMP permitindo que apenas os canais necessários passem para o próximo estágio da rede. Conectados à ONU estão os terminais do assinante que podem ser, entre outros, STBs, computadores pessoais e PDAs (de forma genérica os terminais do assinante serão referidos neste artigo como STB).

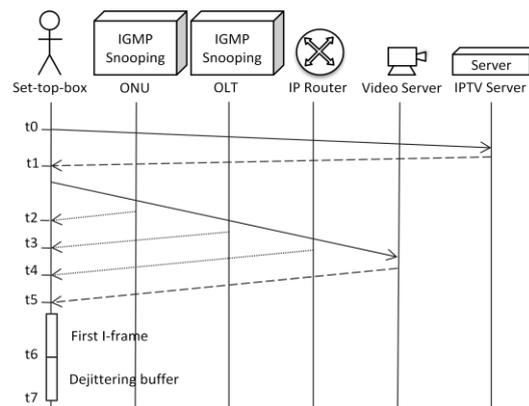


**Figura 1. Serviço IPTV sobre rede GPON**

No protocolo GEM (*GPON Encapsulation Method*) [ITU-T G.984], os pacotes de *downstream* não são endereçados para uma ONU, mas sim a um Port-Id (número de 0 a 4095 que corresponde a uma porta). Cada ONU possui uma tabela com os seus Port-Ids e filtra para si apenas os pacotes cujo Port-Id estiver nesta tabela. Duas ou mais ONUs podem possuir o mesmo Port-Id em sua tabela, neste caso os pacotes enviados para este Port-Id serão recebidos por todas elas.

Uma das formas de endereçar um Port-Id é através da criação de VLANs (*Virtual Local Area Networks*) [IEEE std. 802.1q-2005] no agregador. Todos os tráfegos que possuírem o mesmo VLAN-ID serão colocados no mesmo Port-Id. Então, todos os tráfegos IPTV utilizam o mesmo Port-Id e são separados internamente por seus endereços *multicast*.

Mesmo que, em uma OLT, vários *streams* estejam chegando, apenas aqueles com tags VLAN-ID correspondentes a um Port-Id válido, serão encaminhados para a rede GPON. Esta decisão é normalmente tomada pelo agregador que antecede a OLT e analisa as mensagens IGMP *Join* e *Leave* que trafegam na rede. Ao chegar à ONU, o frame GEM é aberto. Através do endereço *multicast*, apenas os canais que receberam *Join* de um dos STBs conectados a esta ONU serão encaminhados.



**Figura 2. Diagrama de sequência da exibição de um novo canal**

Para que um canal seja exibido, o STB deve consultar o ‘IPTV Server’ para saber qual o endereço *multicast* do canal (t1), em seguida, enviar um *Join* que deve ser processado pelos diversos nós da rede (t2 à t5). Ao receber os quadros, o STB aguarda a chegada do primeiro quadro I (t6) e coloca em um *buffer* um conjunto de quadros (t7), antes de iniciar a exibição do vídeo, para evitar ruídos devido ao *jitter* na rede (figura 2).

### 3. Proposta

A fim de reduzir o tempo de espera entre a mudança de canal e a sua exibição na tela do assinante, propomos uma modificação do padrão de vídeo escalável em SNR (*Signal to Ratio Noise*) do MPEG-2 [ITU-T H.262], além de um sistema que mantenha alguns *streams* disponíveis para o assinante, mesmo que ele não esteja assistindo a todos naquele momento. Esta técnica também pode ser empregada em outros tipos de codificação, por exemplo, o vídeo escalável FGS (*Fine Granularity Scalability*) [Li 2001] proposta no *Amendment 4* do MPEG-4 [ISO/IEC 14496-2].

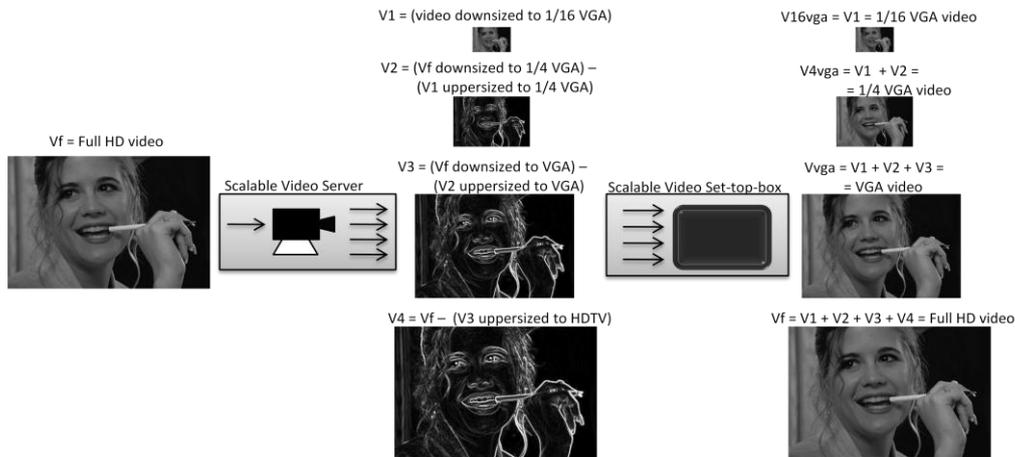


Figura 3. Servidor de vídeo e STB escaláveis com 4 *streams* complementares

#### 3.1. Servidor de vídeo escalável

Os Servidores de vídeo codificarão cada vídeo em quatro *streams* distintos e complementares conforme esquematizado na figura 3. V1 é um *stream* que contém o vídeo em baixa resolução, enquanto V2, V3 e V4 são complementos que melhoram o vídeo composto pela soma de seus anteriores. Desta forma, para visualizar o vídeo em resolução total é necessário somar os quatro *streams*.

Expandindo o processo de codificação escalável em SNR do MPEG-2, temos o esquema básico para o codificador, mostrado na figura 4.

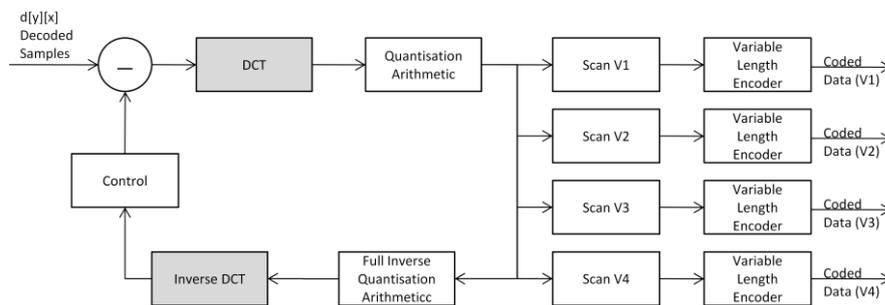


Figura 4. Esquema simplificado do codificador de vídeo escalável em SNR com 4 *streams* complementares

Para que os vídeos sejam complementares, os quatro *scans* devem ser complementares. Além disto, para que não haja distorção nas imagens recuperadas sem os quatro *streams*, cada um dos *scans* deve ser simétrico em relação à diagonal do canto superior esquerdo para o canto inferior direito. Para V1 o *scan* é composto apenas pela

linha 1, ou seja, o componente DC, V2 é composto pela linha 2, V3 pelas linhas 3 e 4 e V4 pelas linhas restantes conforme ilustra na figura 5.

Expanded SNR scalable compression default matrix for intra blocks (luminance and chrominance)								Expanded SNR scalable compression default matrix for non-intra blocks (luminance and chrominance)									
	0	1	2	3	4	5	6	7		0	1	2	3	4	5	6	7
0	8	16	19	22	26	27	29	34	0	16	16	16	16	16	16	16	16
1	16	16	22	24	27	29	34	37	1	16	16	16	16	16	16	16	16
2	19	22	26	27	29	34	34	38	2	16	16	16	16	16	16	16	16
3	22	22	26	27	29	34	37	40	3	16	16	16	16	16	16	16	16
4	22	26	27	29	32	35	40	48	4	16	16	16	16	16	16	16	16
5	26	27	29	32	35	40	48	58	5	16	16	16	16	16	16	16	16
6	26	27	29	34	38	46	56	69	6	16	16	16	16	16	16	16	16
7	27	29	35	38	46	56	69	83	7	16	16	16	16	16	16	16	16

8 Scan for V1    
 16 Scan for V2    
 22 Scan for V3    
 27 Scan for V4

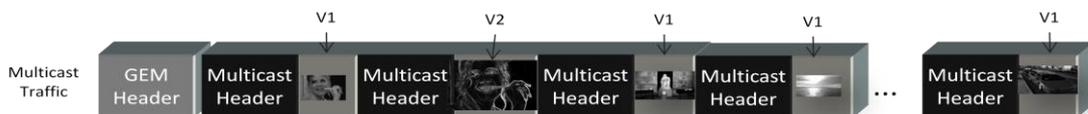
**Figura 5. Divisão da matriz de quantização em quatro seguimentos para o scan**

É possível notar que o processo proposto é computacionalmente viável, pois tanto a DCT quanto a IDCT são executadas apenas uma vez para os quatro *streams*. Outro ponto importante é que um vídeo codificado em MPEG-2 pode ser facilmente convertido para os quatro *streams*, sem a necessidade de uma nova compressão.

### 3.2. Transporte do *stream* de vídeo

Cada um dos *streams* será disponibilizado em um endereço *multicast* único. Desta forma, o STB poderá executar o *Join* e *Leave* nos *streams* que lhe convier.

Neste ponto, podemos observar uma vantagem deste processo, pois caso o vídeo seja exibido em uma tela de tamanho reduzida, como a de um celular, apenas os *streams* V1 e V2 serão necessários, conforme visualizado na figura 6.

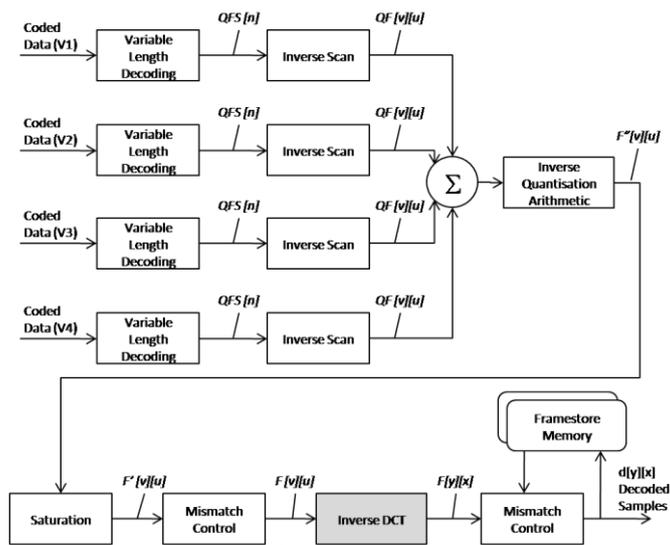


**Figura 6. Vídeos transmitidos em *streams* distintos. No contexto da figura o termo “Multicast Header” significa os cabeçalhos necessários para o encaminhamento dos pacotes *multicast* do *stream* de vídeo**

Prioridades diferentes podem ser adotadas para *streams* diferentes, como discutido em [Aravind 1996] para MPEG-2 e em [Shaar 2000][Li 2001] para MPEG-4. Isto melhora significativamente a qualidade do vídeo quando existe perda de pacotes devido a congestionamento na rede.

### 3.3. Receptor de vídeo escalável

A recuperação do vídeo será executada no STB somando os *streams* disponíveis no processo de *scan* inverso, como mostra o diagrama simplificado da figura 7.



**Figura 7. Esquema simplificado do decodificador de vídeo escalável em SNR com quatro *streams* complementares.**

Assim como na compressão, a descompressão utiliza apenas uma IDCT, o que torna o processo viável em equipamentos com processamento limitado. Não é necessário que todos os *streams* estejam disponíveis para que o vídeo seja decodificado. Ocorre que o PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) melhora quanto maior o número de *streams* utilizados. A redução da qualidade do vídeo se dá pela perda das componentes de alta frequência, que são percebidas em telas com resoluções superiores.

No caso dos vídeos reconstituídos a partir apenas de V1, não existe a necessidade da IDCT. V1 já é por si só a média dos 64 pixels que compõem aquele bloco e pode ser usado diretamente após a quantização. Isto faz com que o processo de descompressão seja mais leve e possa ser executado em paralelo com a descompressão de outro vídeo para ser usado, por exemplo, em sistemas PIP (*Picture in Picture*).

Partindo de um vídeo HDTV (1920x1080), o vídeo gerado por V1 pode ser exibido com boa qualidade (PSNR acima de 36dB para o nosso compressor) em telas de 240x135, a este vídeo damos o nome de V16vga. Acrescentando V2 o vídeo pode ser exibido em 480x270, chamado de V4vga. Somando V3 à anterior temos o vídeo para telas 960x540 (normalmente convertido para SDTV), chamado de Vvga, e com a soma dos quatro *streams* temos o vídeo ideal para HDTV, chamado de Vf (figura 3).

### 3.4. Solicitação dos *streams* pelo terminal do assinante

O STB pode solicitar os *streams* conforme sua necessidade. A fim de evitar que o assinante tenha que aguardar os atrasos da rede, de *buffer* e de descompressão, uma predição é empregada, de tal forma que o STB receberá, além do canal assistido em HDTV, um conjunto de outros canais em baixa resolução, cujas probabilidades de serem os próximos selecionados sejam grandes. Como exemplo, em uma grade de 100 canais, os canais adjacentes ao assistido podem ser solicitados como mostra a figura 8.

O assinante 1 está assistindo ao canal 35, que é recebido em Vf. Supondo que o sistema possua quatro níveis de prioridade, a tabela 1 ilustra como os canais podem ser solicitados, para que o restante da rede consiga descartar corretamente pacotes em caso de congestionamento, neste caso, P0 é a fila de maior prioridade e P3 a de menor.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00										
10										
20							Subscriber 1			
30		V16vga	V16vga	V16vga	V4vga	Vf	V4vga	V16vga	V16vga	V16vga
40										
50										
60										
70							Subscriber 2			
80		V16vga	V4vga	V4vga	Vf	V4vga	V4vga	V16vga		
90										

Figura 8. Canais adjacentes solicitados pelos STBs de dois assinantes

Tabela 1. Priorização dos *streams* na rede.

	V16vga	V16vga	V16vga	V4vga	Vf	V4vga	V16vga	V16vga	V16vga
V4					P1				
V3					P0				
V2				P2	P0	P2			
V1	P3	P2	P1	P1	P0	P1	P1	P2	P3

A decisão de quais canais solicitar, em quais *streams* e em qual prioridade é de responsabilidade do STB baseado no comportamento individual de cada assinante. No caso da figura 8, o assinante 1 possui comportamento diferente do assinante 2, assim a grade solicitada para ambos pelo STB são diferentes também. Observe que, algoritmos baseados em inteligência artificial (em particular as redes neurais artificiais) podem ser adotados para esta predição.

Ao receber os canais solicitados, o STB deve armazenar todos. A fim de assegurar o menor atraso possível, o tamanho total do *buffer* deve ser calculado como:

$$BufferSize = MaxInterval + MinDejitter - 1$$

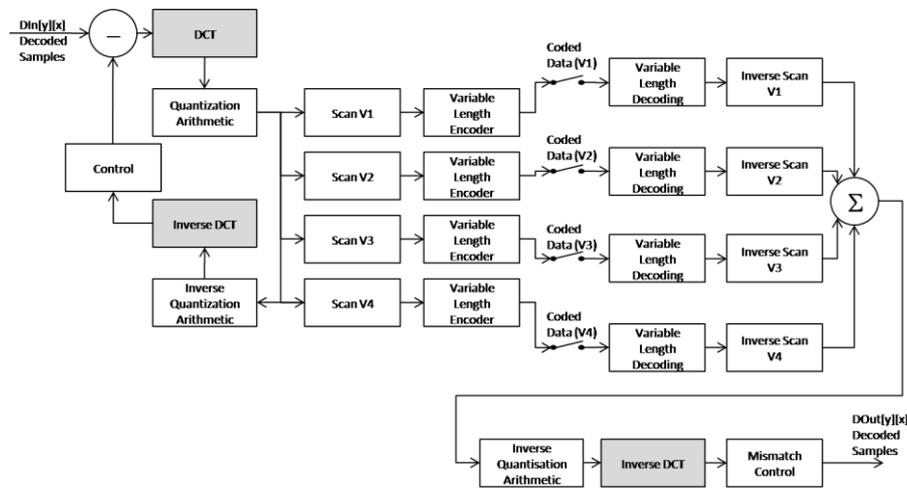
onde *BufferSize* é o tamanho que deve ser reservado para o *buffer*, *MaxInterval* é o máximo intervalo entre frames *I* e *MinDejitter* é o menor *buffer* dimensionado para eliminação de *jitter*. Todos os valores são dados em número de frames.

No momento da mudança de canal, o terminal usará o vídeo que está no *buffer*. Este vídeo possui uma qualidade inferior, porém, boa o suficiente para que o assinante decida permanecer ou não no canal. Enquanto isto, o STB comanda os *Joins* e *Leaves* necessários para a nova posição. Ao receber os novos *streams*, a imagem vai melhorando, progressivamente, para o assinante.

#### 4. Prova do conceito

Para provar o conceito proposto, um conjunto codificador/decodificador simplificado foi implementado, conforme a figura 9.

Tanto  $DIn[y][x]$  quanto  $DOut[y][x]$  são vídeos sem compressão em YCbCr. V1 à V4 são os *streams* de vídeo comprimidos que podem ser transmitidos via rede *multicast* Ethernet. As chaves nestes *streams* possibilitam que cada um deles seja ou não entregue ao decodificador. A banda necessária para cada um dos *streams* é amostrada após o 'Variable Length Encoder'. Para a transmissão e correta recuperação da informação, um cabeçalho médio com 50 Bytes é acrescentado a cada um dos *streams*. O restante dos componentes está descrito a seguir (note que nem todos os componentes do MPEG-2 foram implementados).



**Figura 9. Conjunto codificador/decodificador de teste**

*DCT*: É a transformada do cosseno discreto.

*Quantization Arithmetic*: Neste bloco os coeficientes resultantes da DCT são divididos pelas matrizes da figura 5, dependendo do quadro ser I ou P. Na saída deste bloco os valores são arredondados eliminando a parte fracionária do número. A matriz de quantização utilizada é transmitida em cada um dos *streams* correspondentes.

*Inverse Quantization Arithmetic*: Neste bloco os coeficientes são multiplicados pelas matrizes recebidas junto com os *streams*, dependendo do quadro ser I ou P.

*IDCT*: É a transformada inversa do cosseno discreto.

*Control*: Define se o quadro transmitido será I ou P. A princípio, haverá um quadro I para cada 31 Ps. Isto pode ser alterado dependendo da diferença entre os quadros, caso o PSNR entre estes dois quadros seja inferior a 22dB um quadro I será enviado mesmo antes de completar os 31 Ps.

*Scan V1 à V4*: Executa a varredura do macrobloco 4:4:4 para o respectivo *stream* conforme mostrado na figura 5.

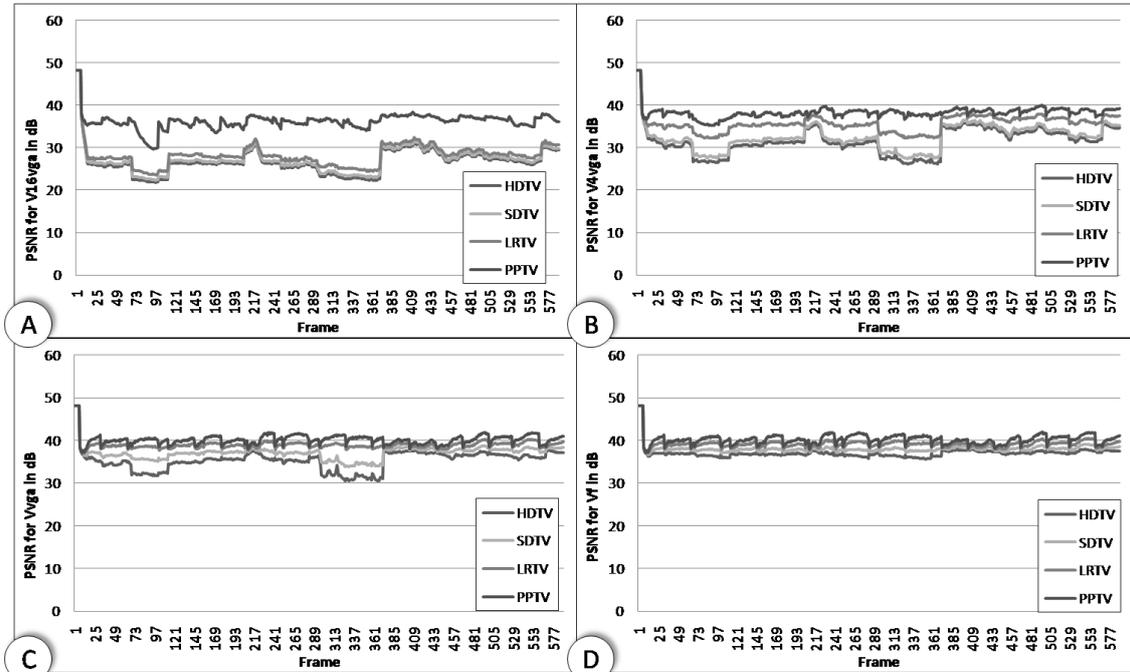
*Variable Length Encoder*: A codificação variável é feita em duas etapas. Na primeira, o sistema desloca a varredura na imagem para os macroblocos onde existem informações a serem transmitidas, para cada salto de macroblocos um par de Bytes é usado para indicar o quanto o decodificador deve saltar. Em seguida, todas as sequências de zeros dos macroblocos que serão transmitidos são substituídas por um par de Bytes que indica quantos zeros devem ser colocados naquele ponto.

*Variable Length Decoder*: A decodificação variável é feita em duas etapas. Na primeira, as sequências de zeros são reconstituídas dentro dos macroblocos. Na segunda, os macroblocos são reposicionados na imagem. Apesar de não estar representada desta forma na figura 9, a segunda etapa é realizada após o '*Inverse Scan*'.

*Inverse Scan V1 à V4*: Recompõe as sequências nos macroblocos somando os *streams* disponíveis dentro do macrobloco. As posições correspondentes aos *streams* não disponíveis são preenchidas com 0.

*Mismatch Control*: Caso o quadro seja P, soma a imagem resultante da IDCT com o quadro anterior para obter o novo quadro.

Para medir a qualidade deste processo, os vídeos DIn[y][x] e DOut[y][x], foram comparados usando o PSNR entre eles em quatro resoluções distintas, sendo o primeiro vídeo na resolução original e cada um dos três subsequentes um quarto da anterior (cada pixel de baixa resolução formado pela média de quatro pixels de alta resolução). Os resultados abaixo foram obtidos com os 20 primeiros segundos do vídeo “UNI – Mulheres salvando o planeta” [Lage 2008] codificado na resolução 640 x 480.



**Figura 10. Comparação da qualidade dos vídeos gerados em quatro formatos:**  
**A) usando o stream V1; B) usando os streams V1+V2; C) usando os streams V1+V2+V3; D) usando os streams V1+V2+V3+V4**

Os quatro gráficos da figura 10 mostram a diferença de qualidade entre cada um dos formatos propostos compostos pela soma dos *streams*. Nestes, HDTV indica a resolução máxima, SDTV corresponde a  $\frac{1}{4}$  da resolução HDTV, LRTV corresponde a  $\frac{1}{4}$  de SDTV e PPTV corresponde a  $\frac{1}{4}$  de LRTV. A tabela 2 resume os resultados destes gráficos, levando em conta apenas o valor médio de cada uma das qualidades.

**Tabela 2. Valor médio das qualidades de vídeo composto pelas combinações dos streams e banda média necessária para cada stream**

	BW (Mbit/s)		PSNR (dB)			
	Acréscimo	Total	HDTV	SDTV	LRTV	PPTV
V16vga	3,01	3,01	27	27	28	36
V4vga	2,46	5,47	32	32	36	38
Vvga	3,15	8,62	35	37	39	40
Vf	2,94	11,56	37	38	39	40

A banda necessária para cada um dos *streams* é mostrada no gráfico da figura 11a. A taxa de compressão média foi de 94%. Apesar de cada resolução transportar seu próprio cabeçalho, aumentando a banda, o codificador se mostrou mais eficiente com a divisão, pois sequências maiores de zeros foram formadas nos macroblocos em V3 e V4. O gráfico da figura 11b compara a banda necessária para transportar o vídeo original em um único *stream* com a soma da banda dos quatro *streams*.

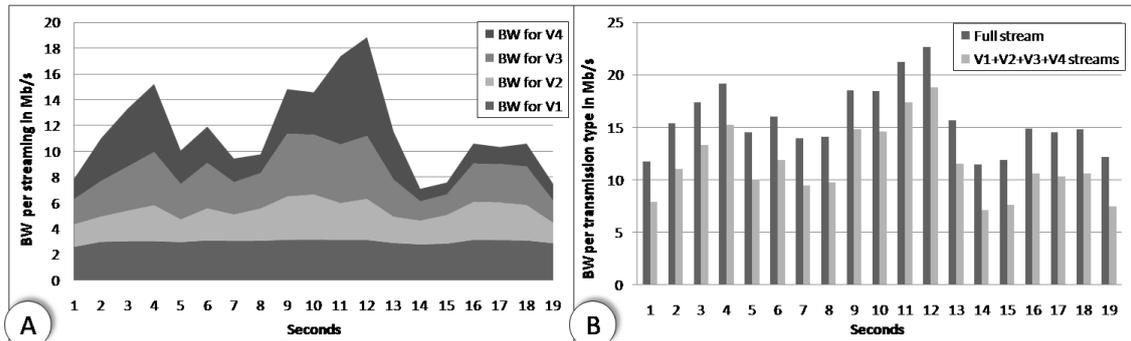


Figura 11. Banda necessária no sistema: A) Banda para cada um dos quatro streams. B) Comparação entre a banda necessária para o transporte do vídeo em um único stream com o transporte do vídeo em quatro streams

## 5. Considerações sobre o sistema

### 5.1. Possibilidade de resoluções distintas

Tanto a resolução necessária para o vídeo quanto à banda disponível podem variar ao longo do tempo. A resolução pode variar de acordo com a programação, pois mesmo em canais HD haverá imagens em SD. A resolução também pode variar com o STB, pois não existe a necessidade de se enviar um vídeo HD para um PDA por exemplo. O meio de transmissão também pode limitar a banda, por exemplo, uma ONU conectada a um WiMax, cuja banda para IPTV é menor que a necessária para HDTV. Nestes casos o sistema proposto propicia a adequação da resolução final sem que o servidor precise atender, de forma particularizada, cada um dos STBs como ilustrado na figura 12.

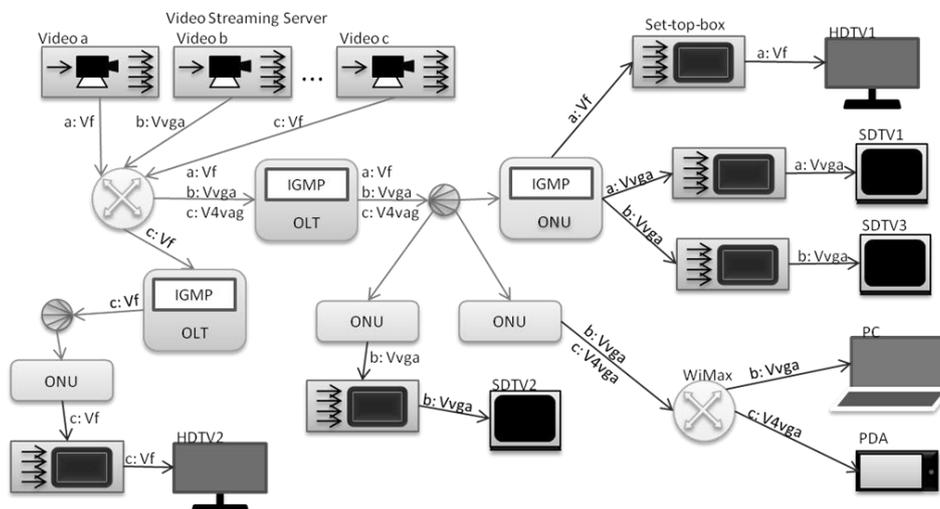


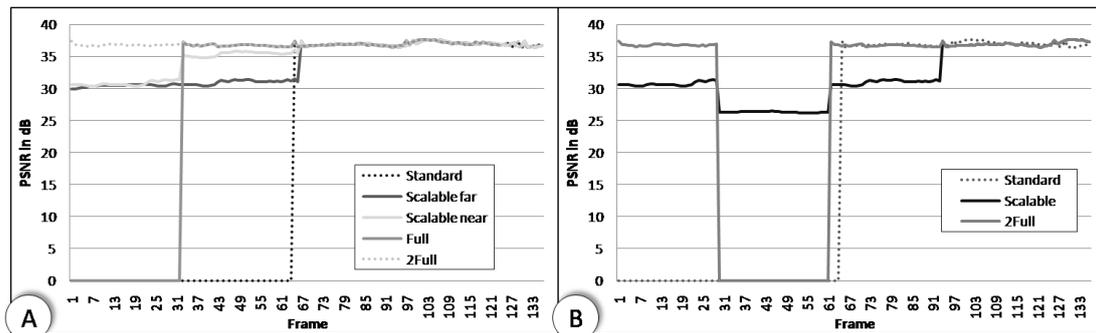
Figura 12. Diversas resoluções sendo transmitidas pela rede GPON dependendo da necessidade do assinante e disponibilidade da rede

Partindo do princípio de que os servidores da figura 12 são HD, é possível observar que o vídeo 'b' só é transmitido em Vvga, pois não existe assinante com a necessidade de V4. O PC conectado ao sistema via WiMax pode receber HD, porém a rede WiMax limitou a banda baixando a resolução para Vvga. O vídeo 'c' é enviado em Vf até o roteador que antecede as OLTs, neste ponto ele segue em Vf para HDTV2 e em V4vga para o PDA.

## 5.2. Qualidade no momento da mudança do canal

Empregado vídeo escalável, o assinante recebe o vídeo de forma imediata, sempre que comandar a mudança de canal para um dos já disponíveis no STB, sendo que este canal pode, inicialmente, entrar com qualidade inferior ao desejado (abaixo de 36 dB) e melhorar à medida que os *streams* faltantes do vídeo são recebidos. Em testes qualitativos, V4vga exibido em HDTV foi considerado aceitável nos instantes iniciais após a mudança do canal, apresentando uma PSNR, na média, 5dB abaixo do vídeo Vf.

Utilizando a rede da figura 1, o diagrama da figura 2 e o assinante 1 da figura 8 como referência, adotando um *buffer* de *dejittering* de no mínimo 600ms e um intervalo médio de 100ms para o processamento do *Join* em cada um dos nós da rede, temos:



**Figura 13. Análise de alguns casos de entrada de canal onde o instante 1 do gráfico é o momento da mudança do canal. A) Mudança única de canal; B) Mudança dupla de canal com intervalo de 1 segundo**

Na figura 13a, *Standard* representa a mudança do canal 35 para o 50 sem a utilização de vídeo escalável. *Scalable far* é a mudança para o canal 36 que já possuía V4vga no *buffer* e que não possuía mais ninguém assistindo, sendo assim é necessário o tempo para aguardar e armazenar V2 e V1 em *buffer*. O pequeno atraso entre *Standard* e *Scalable far* se deve ao fato de que o sistema deve manter o tamanho do *buffer* (inicialmente dimensionado para V4vga) para a nova resolução Vf, a fim de manter o sincronismo do vídeo na transição de V4vga para Vf.

*Scalable near* é idêntico a *Scalable far*, porém a ONU já está recebendo o *stream* em Vvga devido a outro assinante que está assistindo a este canal, é o caso do assinante HDTV1 da figura 12, alterar do canal 'a' para o canal 'b' que está sendo assistido pelo assinante SDTV3. Neste caso, a entrada do canal em Vvga acontece antes da chegada do canal em Vf melhorando a qualidade do vídeo.

*Full* representa a proposta de [Ikeda 2007], de transmitir todos os vídeos até a ONU. Devido aos tempos de *de jitter* e decodificação, o novo canal só é exibido a partir do *frame* 33. A proposta de [Cho 2004], de enviar além do canal assistido os dois adjacentes é representada pela curva *2Full*, contando que os dois canais adjacentes podem ser armazenados no STB, eles são exibidos no *frame* 1.

Na curva *Scalable* da figura 13b, o assinante muda para o canal 36, que possui V4vga no *buffer*, e 1 segundo depois muda novamente para o canal 37 que só possui V16vga, mas cujo V4vga foi solicitado no instante da mudança para o canal 36. No momento da mudança para o canal 37, o primeiro quadro I está a menos de 600ms por isto a exibição do vídeo inicia do segundo quadro I anterior, com isto o vídeo exibido possui um atraso em relação ao gerado no servidor de aproximadamente 1,5 segundo.

Para fins comparativos, o mesmo foi feito com a proposta de [Cho 2004], o resultado é mostrado na curva *2Full*, observe que, neste caso, o assinante fica sem imagem por um intervalo de aproximadamente 1 segundo na segunda troca do canal.

### 5.3. Ocupação da banda

Conforme mostrado na figura 8, para cada canal assistido o STB solicitará um conjunto de outros, isto aumentará a banda necessária por assinante. Por exemplo, baseado na disposição de canais do assinante 1 e na tabela 2, ao invés de  $\approx 12$  Mbit/s referente ao Vf do canal 35, este assinante ocupa  $6(V16vga)+2(V4vga)+Vf \approx 51$  Mbit/s.

Com a utilização da característica *multicast* da rede GPON, se outro assinante assiste a um canal próximo, por exemplo, o canal 30, o canal 31 já estará disponível em V16vga. Desta forma, ele precisará apenas do complemento V2 para atingir o V4vga. Os canais 32, 33 e 34 já possuem a resolução V16vga disponível, portanto este assinante ocupará apenas  $3(V16vga)+V4vga+V2+Vf \approx 29$  Mbit/s.

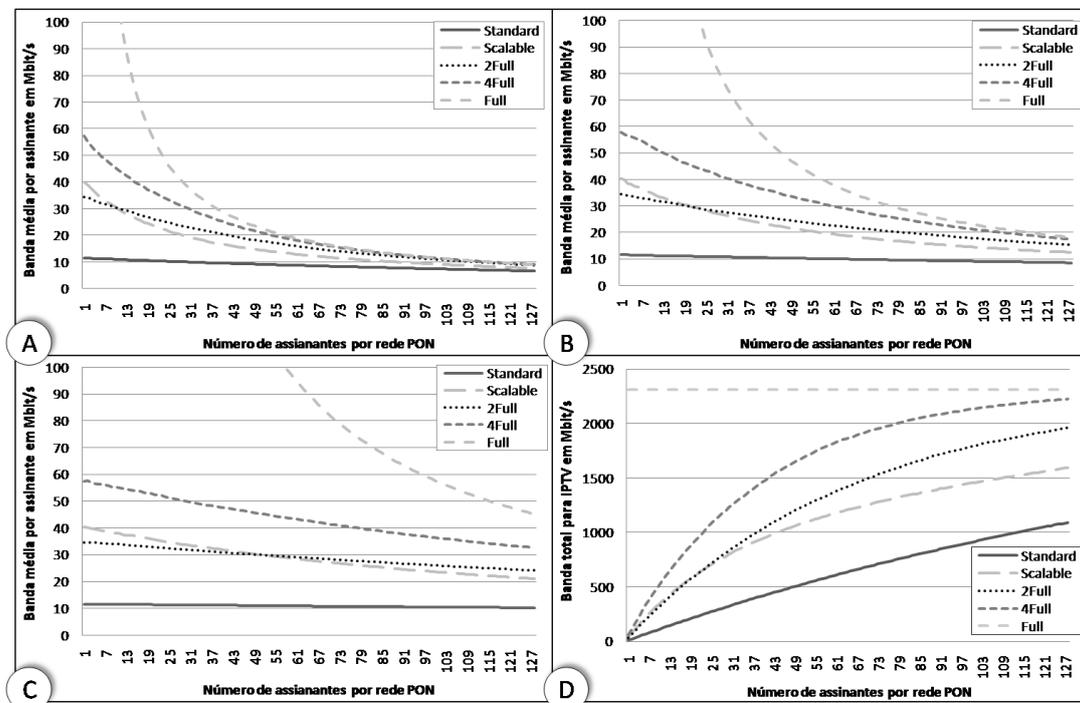


Figura 14. Banda necessária por assinante para: A) 100 canais; B) 200 canais; C) 500 canais. D) Banda total ocupada para IPTV com 200 canais

A fim de analisar as consequências desta distribuição, foram simulados aleatoriamente até 128 assinantes em grades de 100, 200 e 500 canais, todos com a mesma probabilidade de ocorrência. Para cada um deles foi computada a banda complementar necessária para atender o esquema do assinante 1 da figura 8.

Na figura 14, *Full* representa a proposta de [Ikeda 2007], ela é a mais custosa de todas. *2Full* e *4Full*, são baseados nas proposta de [Cho 2004], em *2Full* além do canal assistido, dois adjacentes são enviados, como observado na figura 13, este sistema pode apresentar falhas no caso de mudanças rápidas de canais, então, foi simulado também o envio de quatro canais adjacentes, este experimento é mostrado em *4Full*. *Scalable* é o envio conforme proposto neste artigo, no assinante 1 da figura 8. Por fim o *Standard* representa a curva para o envio apenas do canal assistido.

Observe que para um número grande de assinantes, as curvas tendem a se aproximar. Como ponto de análise, foi escolhido 200 canais e 64 assinantes, neste caso a solução de vídeo escalável se mostrou melhor tanto em termos de banda (só perdendo para o sistema convencional) quanto em termos de continuidade da imagem.

No pior caso, onde cada assinante está assistindo um canal diferente e todos os canais assistidos estão distribuídos de forma equidistantes na grade, com 512 canais e 128 assinantes, há um espaçamento de 4 canais entre cada canal assistido. Desta forma, cada assinante ocupa  $V_f + 2(V_4vga) + V_{16vga} \approx 25\text{Mbit/s}$ . Isto corresponde a uma ocupação total de aproximadamente 3,2Mbit/s, que é superior à banda disponível na rede GPON. Como mostrado no estudo feito em [Hei and Liang 2007], este caso não representa o comportamento típico de um conjunto de assinantes, porém, ao priorizar as resoluções de cada canal, este problema é resolvido.

#### 5.4. Canais não previstos

O STB deve prever o melhor possível o comportamento do assinante, mas isto não garante que o próximo canal selecionado pelo assinante será um dos previstos. Neste caso, o tempo de *zapping* será o mesmo para o sistema padrão (sem vídeo escalável e sem transmissão de múltiplos canais), como mostrado pela curva *Full* da figura 13.

Para resolver este problema, pode ser estudada a variação do intervalo entre quadros I's para cada um dos *streams* gerados. Isto minimiza o tempo de espera pelo quadro I, que é um dos maiores observados nos testes [TR-126 2006].

### 6. Conclusões

Neste artigo, foi apresentada uma possível solução para reduzir o tempo de espera pela entrada do vídeo, após a mudança de canal nos sistemas IPTVs em redes GPON. O sistema expande a característica do MPEG-2 de prover vídeos escaláveis e as características *multicast* das redes GPON para resolver este problema enviando o vídeo em 4 *streams* distintos e complementares que, quando agregados no STB, recompõem o vídeo original. Adotando esta técnica a banda necessária por assinante é maior que a de um único *stream* com o vídeo completo, porém ela é inferior a de outras propostas, como por exemplo, enviar todos os canais para todos os assinantes.

O tempo de troca para um canal que está no grupo previsto pelo STB ficou menor que 30ms com qualidade superior a 35dB. No pior caso, onde o canal escolhido não foi previsto pelo STB o sistema se comportou como nos sistemas convencionais.

Dando continuidade a este trabalho, será pesquisado o comportamento do sistema usando o padrão MPEG-4. Também serão estudadas técnicas para prever o comportamento do assinante com o emprego de inteligência artificial. A fim de resolver o problema dos canais não previstos, a redução do intervalo entre quadros I's será estudada, avaliando o impacto desta variação na qualidade do vídeo gerado, no tempo de troca dos canais e na banda média ocupada por assinante.

Apesar do estudo deste artigo se referir a sistemas ponto-multiponto, os sistemas ponto-a-ponto (P2P) [Zhang 2005] também apresentam o mesmo problema [Hei and Liang 2007][Hei and Liu 2007] com relação ao tempo de *zapping*. Como trabalho futuro, a metodologia apresentada pode ser adaptada para funcionar com sistemas P2P.

## Referências

- Aravind, R., Civanlar, M. R., and Reibman, A. R. (1996) – Packet Loss Resilience of MPEG-2 Scalable Video Coding Algorithms: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, No. 5, October 1996
- Cho, C., Han, I., Jun, Y., and Lee, H. (2004) – Improvement of channel zapping time in IPTV services using the adjacent groups join-leave method: The 6<sup>th</sup> International Conf. on Advanced Communication Technology, pg. 971-975, Vol. 2, October 2004
- Friego, N. J., Iannone, P.P., and Reichmann, K.C. (2004) – A View of Fiber to the Home Economics: IEEE Optical Communications, pg. S16 – S23, August 2004
- Hei, X., Liang, C., Liang, J., Liu, Y., and Ross, K. (2007) – A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System: IEEE Transactions on Multimedia, Vol. 9, No. 8, December 2007
- Hei, X., Liu, Y., and Ross, K. (2007) – Inferring Network-Wide Quality in P2P Live Streaming Systems: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Dec. 2007
- IEEE std. 802.1q-2005, Virtual Bridged Local Area Networks
- Ikeda, H., Sugawa, J., Ashi, Y., and Sakamoto, K. (2007) – High-definition IPTV Broadcasting Architecture over Gigabit-capable Passive Optical Network: IEEE GLOBECOM 2007
- ITU-T G.984 (2003) – Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON)
- ITU-T H.262 (2000) – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video.
- ISO/IEC 14496-2/FPDAM4 (2000) – Coding of Audio-Visual Objects, Part-2, Amendment 4: Streaming Video Profile, July 2000
- Koonen, T. (2006) – Fiber to the Home / Fiber to the Premises: What, Where, and When? : Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 5, May 2006
- Lage, J. (2008) – UNI-Mulheres salvando o planeta: Imagem&Cia [www.imagemcia.com.br](http://www.imagemcia.com.br)
- Li, W. (2001) – Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 video Standard: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, No. 3, March 2001
- Shaar M., Radha H., and Dufour C. (2000) - Scalable MPEG-4 Video Coding With Graceful Packet-loss Resilience Over Bandwidth-varying Networks: IEEE Multimedia and Expo, 2000, ICME 2000, Vol. 3, pg. 1487 to 1490
- TR-126 (2006) – Technical Report TR-126 – Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements: DSL Forum ([www.dslforum.org](http://www.dslforum.org)) – Architecture & Transport Working Group.
- Zhang, X., Lui, J., Li, B., and Yum, T. S. P. (2005) – DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming: IEEE INFOCOM, Mar. 2005