

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES E  
TELEINFORMÁTICA**

**KENNETH HIOKI SATO**

**TRÁFEGO DE VÍDEO NÃO COMPRIMIDO SOBRE IP**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2018**

**KENNETH HIOKI SATO**

**TRÁFEGO DE VÍDEO NÃO COMPRIMIDO SOBRE IP**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

**CURITIBA**

**2018**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Redes de Computadores e  
Teleinformática



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRÁFEGO DE VÍDEO NÃO COMPRIMIDO SOBRE IP

por

KENNETH HIOKI SATO

Esta monografia foi apresentada em 21 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores e Teleinformática. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M.Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## RESUMO

SATO, Kenneth Hioki. **Tráfego de vídeo não comprimido sobre IP**. 2018. 57 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Devido a grande evolução do protocolo IP e ao aumento da qualidade dos sinais de vídeo, tem sido muito estudado o tráfego de vídeo não comprimido através do protocolo IP. Desta forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma pesquisa de literatura sobre os modelos de tráfego de vídeo existentes, incluindo o padrão de comunicação SMPTE 2110 e apresentar estudo de casos em que o tráfego de vídeo não comprimido sobre IP já é utilizado no mercado de rádio difusão. Essa transição de padrão de comunicação deve ocorrer nos próximos anos, embora ainda não haja previsão devido ao alto custo e a todas as alterações estruturais que acompanham esta transição.

**Palavras-chave:** Vídeo sobre IP. Protocolo IP. SMPTE 2110. Rádio Difusão.

## ABSTRACT

SATO, Kenneth Hioki. **Traffic of uncompressed vídeo over IP**. 2018. 57 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

There have been a lot of researches over uncompressed video over IP, due to the big evolution of the IP protocol and the increasingly quality of video signals. Thus this paper objectives are to do a research on the literature over the existing video traffic models, including the pattern SMPTE 2110 and present cases studies where the uncompressed video over IP is already in use in the broadcast market. This communication pattern transition is meant to happen in the next few years, even though there is not a precise time prediction due to its high costs and all the structural changes that go along with it.

**Keywords:** Video over IP. IP Protocol. SMPTE 2110. Broadcast.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparação taxa de dados de vídeo e <i>ethernet</i> .....	14
Figura 2. Exemplo de <i>switchs</i> de alta performance .....	17
Figura 3. Tipos de fibras ópticas .....	19
Figura 4. Exemplos de transceivers QSFP+ e QSFP28 .....	20
Figura 5. Exemplo de <i>gateway</i> direto .....	20
Figura 6. Exemplo de <i>gateway</i> externo .....	21
Figura 7. Exemplos de topologias: a) Topologia em barramento, b) Topologia em malha, c) Topologia em árvore, e d) Topologia em estrela .....	22
Figura 8. Topologia de três camadas .....	23
Figura 9. Exemplo de topologia de três camadas .....	24
Figura 10. Exemplo de topologia de duas camadas .....	24
Figura 11. Topologia <i>Spine-Leaf</i> .....	25
Figura 12. Padrão SMPTE 2022-7 com redundância de caminhos .....	30
Figura 13. Diagrama comparativo de padrões SMPTE 2022-6, TR-03 e TR-04 .....	31
Figura 14. Processo de obtenção de <i>clock</i> de referência .....	33
Figura 15. Exemplo de sincronismo PTP .....	35
Figura 16. Mudanças nas tecnologias .....	42
Figura 17. Diagrama da utilização de <i>gateways</i> .....	44
Figura 18. Padrões usados no caso estudado .....	45
Figura 19. Topologia do caso estudado .....	46
Figura 20. Conexão de <i>Uplinks</i> na Euro 2016 .....	47
Figura 21. Diagrama conceitual dos <i>links</i> da EURO 2016 .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões SMPTE para cada taxa de bits dos sinais de vídeo .....	13
Tabela 2. Comparativo financeiro/capacidade entre <i>Router SDI</i> e <i>Switch Ethernet</i> ..	15
Tabela 3. Tamanho do pacote (em <i>bytes</i> ) para amostragem de 48kHz e resolução de 24 <i>bits</i> .....	38
Tabela 4. Tamanho do pacote (em <i>bytes</i> ) para amostragem de 48 kHz e resolução de 16 <i>bits</i> .....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS .....	8
1.1.1 Objetivo Geral .....	8
1.1.2 Objetivos Específicos .....	8
1.2 JUSTIFICATIVA .....	9
1.3 METODOLOGIA.....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
<b>3 PADRÕES DE COMUNICAÇÃO</b> .....	<b>12</b>
3.1 INTERFACE SERIAL DIGITAL (SDI) .....	12
3.2 ESTRUTURA IP .....	13
3.2.1 Estrutura Física .....	16
3.2.1.1 Equipamento central (Core) .....	16
3.2.1.2 Cabos e conectores.....	17
3.2.1.3 Topologias.....	21
3.2.1.3.1 <i>Topologia em três camadas</i> .....	22
3.2.1.3.2 <i>Spine-Leaf</i> .....	25
<b>4 FLUXO SOBRE IP</b> .....	<b>27</b>
4.1 ORGANIZAÇÕES .....	27
4.1.1 SMPTE .....	28
4.2 PADRÕES E RECOMENDAÇÕES .....	29
4.2.1 SMPTE 2022 .....	29
4.2.2 Recomendação Técnica 03 (TR-03).....	30
4.2.3 Recomendação Técnica 04 (TR-04).....	31
4.2.4 SMPTE 2110 .....	31
4.2.4.1 SMPTE 2110-10.....	32
4.2.4.1.1 <i>Protocolo de precisão de tempo (IEEE 1588)</i> .....	33
4.2.4.2 SMPTE 2110-20 e 21 .....	35
4.2.4.3 SMPTE 2110-30 e 31 .....	36
4.2.4.3.1 <i>Padrão AES67</i> .....	37
4.2.4.4 Demais documentos esperados .....	40
<b>5 NOVOS WORKFLOWS</b> .....	<b>41</b>
<b>6 ESTUDO DE CASOS</b> .....	<b>44</b>
6.1 NOVA SEDE DE EMISSORA EM RECIFE .....	44
6.2 EUROCOPA 2016.....	47
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
7.1 LIMITAÇÕES.....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A - EXEMPLO DE SDP: TR-04</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICE B - EXEMPLO DE SDP: AES67</b> .....	<b>57</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A história da televisão no Brasil remete ao ano de 1950, em São Paulo, com o surgimento da PRF-3 TV Difusora ou Tupi. Devido ao modelo de livre mercado adotado no Brasil, a televisão se tornou um negócio bastante lucrativo (BRANDÃO; LINS; MAIA, 2011, p. 878). Desta forma a televisão tem se consolidado como o maior meio de comunicação em massa do país. Em 2015, 97,13% dos domicílios brasileiros possuíam televisão em suas casas (VILLELA, 2016). Em função da importância desse nicho de mercado, desde o surgimento das primeiras emissoras, muito se tem estudado em relação às tecnologias de televisão e rádio difusão.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e apresentar um trabalho que descreva o estado tecnológico para o tráfego de vídeo não comprimido sobre o protocolo *internet* IP, tendo como base o padrão SMPTE 2110.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Estudar os modelos para tráfegos de vídeo existentes e em utilização no mercado de rádio difusão.
- Realizar pesquisa bibliográfica sobre o padrão de comunicação SMPTE 2110 e suas vantagens.
- Realizar estudos de casos apresentando e analisando o uso do tráfego de vídeo não comprimido sobre IP no mercado de rádio difusão.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O protocolo internet (*Internet Protocol*, IP) foi incorporado em diversas tecnologias como na telefonia e nas redes industriais com aumento de eficiência, inovação e grau de controle e automação de processos (CRONK, 2017). No ramo da televisão a migração para o protocolo IP traz mais padronização e escalabilidade, ou seja, está preparado para atender demandas atuais e futuras. Outra vantagem é que uma infraestrutura em IP possui uma maior universalidade, equipamentos menores e uma base de fornecedores muito maior que em *Serial Digital Interface* (SDI), padrão utilizado para transmissão de áudio e vídeo profissional, sem compressão/codificação. São exemplos de SDI os protocolos ITU-R BT. 656 e SMPTE 259M. Além disso, o investimento em tecnologia IP é de mais de 10 bilhões de dólares por ano comparado a aproximadamente 10 milhões de dólares em banda base SDI (DOMINGUES, 2017).

Paralelo àquela mudança na rádio difusão, também existe o crescimento acelerado das novas tecnologias de Vídeo sob Demanda (*Video on Demand*, VoD). Como é o caso do Netflix, cujo capital chega a 61,6 bilhões de dólares (FORBES, 2017). Estes mercados também demandam muitos equipamentos de tráfego de vídeo sobre IP (*vídeo over IP*), o que aumenta o esforço de órgãos para encontrar um padrão de transporte que satisfaça tanto o mercado de VoD como o de rádio difusão.

Os maiores eventos de rádio difusão também dão enorme visibilidade ao tema. A *National Association Broadcasters* (NAB) Show 2018, maior exposição de rádio difusão da América, anuncia como uma de suas principais atrações um *showcase* exclusivo para a discussão do tráfego de vídeo sobre IP. Enquanto que no site da *International Broadcasting Convention* (IBC), o primeiro tópico em avanços tecnológicos é o *IP-based Workflows*, no qual o fluxo das operações e informações é transmitido por IP. No Brasil, a Sociedade de Engenharia de Televisão (SET) Expo 2017 incluiu em seu congresso um *Workshop* sobre a produção de vídeo sobre IP.

Isso tudo demonstra a força com que a tecnologia de tráfego de vídeo sobre IP chega e porque ela deve ser muito bem estudada por qualquer profissional envolvido no ramo de rádio difusão.

### 1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre os temas vídeo não comprimido sobre IP utilizando o padrão SMPTE 2110, buscando em base de dados, manuais técnicos e publicações disponíveis em língua portuguesa, espanhola e inglesa. Os termos utilizados para a busca foram: “SMPTE 2110” e “Vídeo não comprimido sobre IP” que permitiram estudar os modelos de tráfego de vídeo não comprimido. Nesse sentido, para desenvolvê-la, inclui-se a busca exaustiva de produções potencialmente relevantes considerando as seguintes etapas: elaboração da pergunta norteadora; busca ou amostragem na literatura; coleta de dados; análise crítica dos estudos incluídos; discussão dos resultados; e, apresentação de estudos de casos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir de seu surgimento, nos anos 50, a televisão foi inicialmente transmitida por sinais analógicos. Tanto o áudio como o vídeo eram sinais analógicos, que eram transmitidos de um equipamento a outro paralelamente. Apenas nos anos 1998, no Reino Unido e depois nos Estados Unidos e Japão no início desse século é que os sinais passaram a ser transmitidos também de forma digital, utilizando-se da interface digital serial (SDI) para a transmissão e tratamento do sinal.

No Brasil a transmissão de televisão com sinal digital ocorreu por muitos anos paralelamente à transmissão do sinal analógico. Apenas a partir de 2016 que os sinais abertos analógicos passaram a ser desligados devido ao leilão da faixa de frequência utilizada por eles. O desligamento, também chamado de *Analog Switch-Off (ASO)* já foi realizado em diversas cidades. Como exemplos, indica-se Rio Verde (GO), Brasília (2016), São Paulo (2017) e Curitiba (2018). O fim das transmissões analógicas está previsto para dezembro de 2023 (BRASIL, 2017).

As vantagens e a recente utilização da comunicação IP para vídeos descomprimidos fizeram com que as empresas de vídeo e televisão demandassem o desenvolvimento de equipamentos que suportem esse protocolo. Para suprir essa demanda muitas empresas começaram a desenvolver soluções e equipamentos para processamento de vídeo baseado no protocolo IP. No entanto, o início deste desenvolvimento ocorreu mais rápido que a padronização dele.

De início surgiram o padrão SMPTE 2022 e as recomendações técnica TR-04 e TR-03, porém a publicação do padrão SMPTE 2110 deve reunir as melhores práticas para o tráfego de vídeo descomprimido sobre IP e provavelmente será o padrão a ser seguido pelas empresas fabricantes de equipamentos de rádio difusão.

### 3 PADRÕES DE COMUNICAÇÃO

#### 3.1 INTERFACE SERIAL DIGITAL (SDI)

No início das transmissões de televisão todos os sinais que eram captados, processados e transmitidos eram sinais de vídeo e áudio analógicos. Nas empresas de *broadcast* o sinal de vídeo em geral trafegava em cabos coaxiais de  $75\Omega$  e conectores BNC. Já o sinal de áudio trafegava um cabo de áudio balanceado quando o áudio era mono e em um par de cabos quando o áudio era estéreo.

Existem algumas vantagens em transmitir um sinal de vídeo de forma digital em relação à forma analógica. Dentre essas vantagens, as principais são a maior robustez frente à deterioração do sinal (tipicamente maior relação sinal/ruído) e a maior eficiência no uso da banda de transmissão (MILLER, 2008). O que reforçou a necessidade de transição do sinal analógico para o digital foi a impossibilidade de transmitir um sinal de alta definição (HD) na faixa de banda disponível para os canais de televisão analógico (6MHz) (CICIORA et al., 1999).

Com a evolução das tecnologias de comunicação, tornou-se possível a transição dos sinais de televisão de analógico para digital. Quando os sinais de televisão passaram a ser trafegados de forma digital, os cabos e conectores de  $75\Omega$  utilizados para trafegar o sinal analógico foram mantidos, devido a sua robustez, simples conectividade e por suportarem altas frequências (HUDSON; SETH-SMITH, 2006).

No entanto, a uma taxa de 3 Gb/s, como em um sinal 1080p, o alcance não costuma passar dos 100m (EBU-UER, 2010). Uma proposta para atingir taxas maiores e poder trafegar melhores qualidades de vídeo, como o 2K ou 4K, é a de usar multi-links SDI. Por exemplo, para atingir taxas de 6 Gb/s poderiam ser utilizados dois cabos de 3 Gb/s SDI para formar um Dual Link com uma taxa total de 6 Gb/s, ou então para chegar a 12 Gb/s, poder-se-ia formar um Quad-Link com quatro cabos de 3 Gb/s, porém a implementação dessas bandas agregadas são bastante caras e complicadas (HUDSON; SETH-SMITH, 2006).

Novas pesquisas têm sido realizadas para viabilizar a transmissão em taxas maiores com apenas um cabo SDI e já foi possível atingir até uma taxa de 12 Gb/s,

porém o custo, a complexa escalabilidade e a multiaplicabilidade do IP fez a utilização do 12G-SDI pouco frequente.

Cada taxa de vídeo é descrita por um documento diferente padrão. A Tabela 1 apresenta as taxas de vídeo e os respectivos documentos.

**Tabela 1. Padrões SMPTE para cada taxa de bits dos sinais de vídeo**

<b>Taxa de bits</b>	<b>Padrão</b>
1,5 Gb/s (1080i)	SMPTE ST 292M
3 Gb/s (1080p)	SMPTE ST 424M
6 Gb/s (2K)	SMPTE ST 2081
12 Gb/s (4K)	SMPTE ST 2082
24 Gb/s (8K)	SMPTE ST 2083

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 ESTRUTURA IP

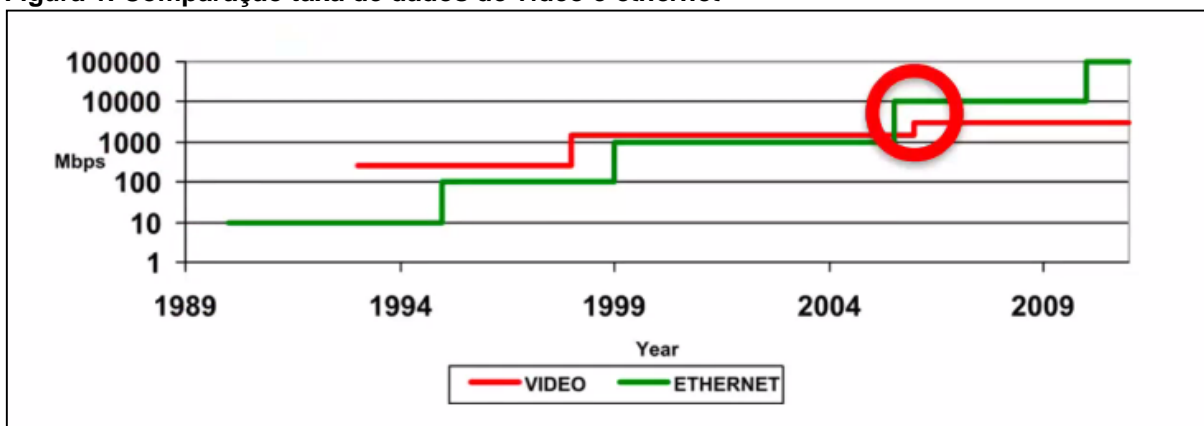
Apesar de a tecnologia SDI ser bastante robusta e ter se difundido extensamente entre as empresas de produção e transmissão *broadcast*, a tecnologia IP tende a ocupar esse mercado.

Isso se deve a diversos fatores que se apresentam como vantajosos quando comparamos o SDI com o IP. Esses fatores podem ser divididos em vantagens de produção, técnicas e financeiras.

As vantagens de produção serão melhor detalhas nos capítulos seguintes, porém ressalta-se que a produção de conteúdo ao vivo e a distribuição em IP é muito mais rápida (HEDKVIST, 2017). Diversas plataformas já trabalham com o conteúdo em IP, principalmente as plataformas VoD (SNELL ADVANCED MEDIA, 2015a). Outro fator a ser mencionado é a flexibilidade do *hardware* utilizado. Em SDI, a maioria dos *hardwares* são específicos para uma determinada função, enquanto que em IP o serviços devem fazer esse papel de forma a não depender de um *hardware* específico para manipular o sinal de vídeo.

Já referente às vantagens técnicas, destaca-se que o padrão Ethernet atingiu velocidades altíssimas nos últimos anos e essa velocidade cresce de forma espantosa se comparada ao SDI, conforme pode ser observado na Figura 1. Relaciona-se a isso a já mencionada dificuldade de se trafegar um sinal com mais de 3 Gb/s em um único cabo coaxial (HEDKVIST, 2017).

Figura 1. Comparação taxa de dados de vídeo e *ethernet*



Fonte: Hedkvist (2017).

Outra vantagem é o desenvolvimento rápido de novas e confiáveis tecnologias para IP. Essa evolução do IP acontece tanto nas pesquisas, quanto no desenvolvimento de serviços e produtos. Resultado de um investimento muito grande em pesquisa e desenvolvimento amparado por um lucro muito grande das empresas de TI nos últimos anos. Por exemplo, a Apple, uma única empresa de TI, faturou mais de 215 bilhões de dólares no ano de 2014 e investiu 10 bilhões em pesquisa e desenvolvimento (STATISTA, 2018). Enquanto que o faturamento total de toda a indústria *broadcast* especializada girou em torno dos 30 bilhões de dólares (SNELL ADVANCED MEDIA, 2015b).

As instalações também devem se tornar mais simples e escaláveis. Exemplifica-se isso com a questão de tamanho físico: um *switch core* que trafegue 1152 sinais ocupa 11 unidades de *rack*, enquanto que um tradicional *router SDI* para trafegar 1152 sinais ocupa 40 unidades de *rack* (ARISTA NETWORKS, 2016). Além disso, deve ser atentado também ao fato de que quase todo lugar já possui uma infraestrutura que suporta IP. A evolução nas pesquisas em Internet das Coisas (*Internet of Things, IoT*) demonstra isso. Talvez não na velocidade necessária para se trafegar os 3 Gb/s de um sinal 1080p, mas essa infraestrutura já existe e é conhecida.

É possível notar que as vantagens técnicas e de produção normalmente acarretam também em vantagens financeiras. No entanto, para produções remotas estima-se que a economia financeira para produzir e distribuir o conteúdo seja muito grande. A *Snell Advanced Media* (SAM) realizou uma comparação de custo de infraestrutura IP e SDI, representada na Tabela 2. Comparou-se um *router SDI* de 96 portas de 3 Gb/s de custo aproximado de 28 mil dólares e um *switch* de 48 portas bidirecionais de 10 Gb/s a um custo aproximado de 40 mil dólares. Dividindo o valor

dos equipamentos pela taxa de dados por segundo, obteve-se que o custo de cada Gb/s do *router* ficava em torno de 97 dólares, enquanto que o switch ficou em 56 dólares. No entanto, salienta-se que essa seria uma comparação bastante grosseira. Uma infraestrutura IP não será necessariamente mais barata (SNELL ADVANCED MEDIA, 2015b).

**Tabela 2. Comparativo financeiro/capacidade entre *Router SDI* e *Switch Ethernet***

<b>Equipamento</b>	<b>Custo do equipamento</b>	<b>Capacidade de tráfego</b>	<b>Custo por Gb/s</b>
<i>Router SDI SAM Vega</i> com 96 portas (3 Gb/s cada)	US\$28.000,00	288 Gb/s (96 portas x 3 Gb/s)	US\$97,22
<i>Switch Cisco 3548</i> com 48 portas bidirecionais (20 Gb/s. 10 Gb/s em cada direção)	US\$40.000,00	720 Gb/s (48 portas x10 Gb/s x 2 bidirecionais – 25% para padronização do sinal)	US\$55,56

Fonte: Snell Advanced Media (2015b).

Apesar de todas as vantagens mencionadas, também existem muitos desafios a serem enfrentados. Um deles, que tem se apresentado como o maior deles, é o provável aumento de complexidade e risco nas configurações e intervenções (HEDKVIST, 2017). Portanto, será necessário um razoável investimento em treinamento das equipes de engenharia e TI devido as tecnologias de *broadcast* e TI estarem se misturando. Além disso, muitos fatores considerados vantajosos também possuem seus reveses. Por exemplo, o rápido desenvolvimento de soluções IP resultou numa transição com abordagens diferentes e despadronizadas. De tal forma o mercado apresenta certo conservadorismo nessa transição tecnológica. Felizmente diversas organizações como a SMPTE, AIMS, VSF estão trabalhando incansavelmente pela padronização e interoperabilidade de soluções.

Segundo Shawn Liew, editor da *Asia Pacific Broadcast* (APB), a transição para IP já é certa (LIEW, 2016). Entretanto, essa transição não deve ocorrer de forma abrupta na maioria dos casos. Provavelmente as empresas devem preferir iniciar modificando o ambiente SDI em um ambiente híbrido SDI-IP. Isso é justificado pelo enorme número de equipamentos operando em SDI. Portanto estima-se que ilhas operacionais em IP devem aparecer onde o IP tenha vantagens sobre o SDI e no restante das operações devem permanecer em SDI até que seja vantajosa ou inevitável a transição. Além disso, historicamente, tem-se que transições



semelhantes, como a as conversões de analógico para digital e SD para HD, também ocorreram de forma gradual (BARELLA, 2017).

### 3.2.1 Estrutura Física

Atrelada à mudança de forma de tráfego dos sinais de vídeo, serão necessárias também algumas alterações na estrutura física das empresas de *broadcast*. Entre essas alterações, as mais impactantes devem ser a substituição do *router* SDI por um switch COTS de alta performance e dos cabos SDI por cabos de fibra óptica. Essas duas substituições na infraestrutura também deve acarretar em mudanças na topologia da rede.

#### 3.2.1.1 Equipamento central (Core)

Em geral, o equipamento central (*Core*) de infraestrutura SDI *broadcast* é um *router* SDI. Este equipamento é responsável por fazer a comutação entre os diversos sinais conectados a ele. Normalmente o *router* é definido pelo número de portas de entrada e de saída que possui.

Por mais que a transição de SDI para IP ainda esteja no começo, sabe-se antecipadamente que uma abordagem com *Data Centers Comercial Off The Shelf* (COTS) será realizada na maioria das transições SDI para IP. Isso significa que equipamentos de TI, principalmente os *switchs* de elevada taxas de tráfego, certamente serão utilizados para fazer a comutação e distribuição dos sinais de vídeo não comprimidos (ARISTA NETWORKS, 2016).

Deve-se notar que para um *switch* o número de portas não é tão relevante quanto em um *router* SDI, uma vez que cada uma das portas é bidirecional e pode transmitir mais de um sinal. Portanto, o planejamento de uma instalação em IP otimizada difere-se em boa parte de uma instalação baseada em SDI (SNELL ADVANCED MEDIA, 2015a). Isso é reforçado com a flexibilidade da estrutura IP de poder operar com sinais nos mais diferentes formatos, seja SD, 4K ou qualquer outro formato sem desperdício de banda de processamento do *switch* (ARISTA NETWORKS, 2016). Alguns exemplos de *switchs* podem ser observados na Figura 2.

Figura 2. Exemplo de *switchs* de alta performance



Fonte: Arista (2016) e Cisco (2013).

As redes *broadcast* tendem a ser *Software Defined Networks* (SDN), ou seja, devem ser auxiliadas por *softwares* que facilitam a gerência dos fluxos e dos *switchs*, tornando-os razoavelmente fáceis de configurar e permitindo uma comutação de sinais tão simples quanto apertar um botão.

Contudo, aquela troca de *router* SDI para *switch*, não é imprescindível para poder trabalhar com sinais IP. Existem formas de converter um sinal SDI para IP ou IP para SDI. Isso viabiliza a estrutura híbrida já mencionada. A conversão pode ser realizada de forma externa, com um equipamento específico para isso, ou pode ocorrer dentro do próprio *router* SDI, utilizando placas que substituem as entradas/saídas SDI do *router* por placas que já convertem os sinais para IP e os disponibiliza em portas ópticas (BARELLA, 2017).

### 3.2.1.2 Cabos e conectores

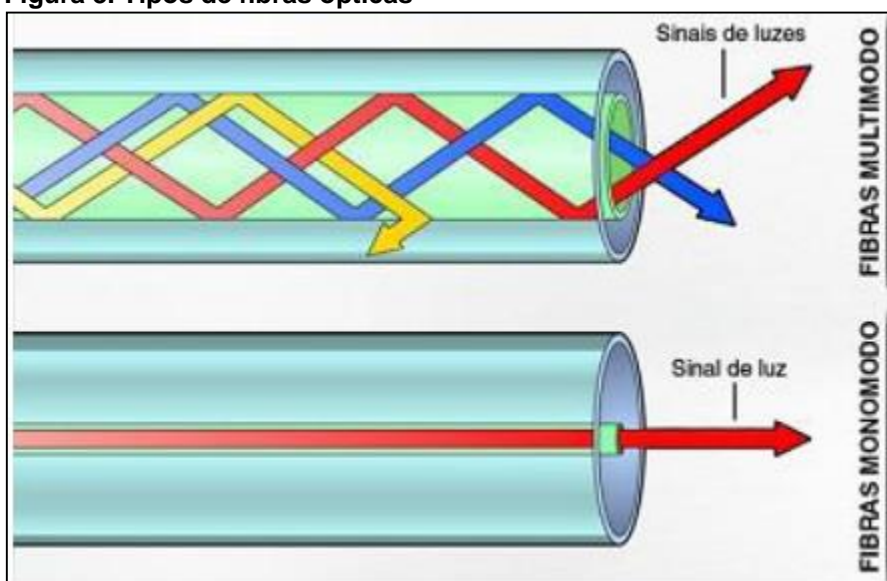
O meio por onde se trafega um sinal IP são diversos. Os cabos coaxiais estiveram mais presentes nas primeiras instalações, porém por serem mais caros e atingirem taxas menores, logo foram substituídos pelos cabos de par trançado, padrão ethernet os quais dividem o sinal nos múltiplos pares. O meio também pode ser o ar (*wireless WiFi*), no caso das redes sem fio, porém devido a grande atenuação e ao risco de segurança, os pares trançados persistem como o meio mais comum até hoje em redes IP.

Os cabos de par trançado são separados em categorias conforme a taxa suportada. Partindo da categoria 1 que suporta uma taxa de 64kb/s até a categoria 7 que ainda está em estudo, mas estima-se que, através de avançadas técnicas de processamento digital de sinais, é possível atingir taxas de até 10Gb/s. Entretanto como a grande maioria das redes locais instaladas possui taxas de transmissão de 10 a 100 Mb/s, os cabos de categoria CAT5 e CAT6, de respectivamente 100 Mb/s e 1 Gbit/s, ainda são os mais encontrados nas instalações atuais (CARISSIMI, 2009).

Quando a instalação supera a taxa de 1Gb/s, como é o caso dos sinais de vídeo HD, o meio de transmissão mais comum é a fibra óptica devido a algumas características deste meio. Entre essas características ressalta-se a capacidade de suportar uma grande largura de banda, pois as fibras ópticas operam na faixa de radiação infravermelha, que vai de 700 nm a 1700 nm. Além disso, a fibra óptica sofre uma baixa atenuação com a distância ( $\sim 0,2$  dB/km em 1550 nm) e a velocidade de propagação do feixe luminoso em uma fibra óptica é da ordem de 66% da velocidade da luz no vácuo, assim o atraso de propagação também é pequeno, na ordem de 5 ns/m. Portanto as fibras ópticas, virtualmente são o melhor meio para comunicação a grandes distâncias e altas taxas (CARISSIMI, 2009).

Existem três tipos de cabos de fibra óptica, as fibras multimodo-MMF (2 tipos) e as fibras monomodo-SMF. As fibras monomodo têm o núcleo mais fino, de 8 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetros (ITU G-652), já as fibras multimodo possuem núcleos mais grossos (50  $\mu\text{m}$  (ITU G-651.1 ou ISO/IEC 11801 OM-2) e 62,5  $\mu\text{m}$  (OM-1)). Fibras MMF e SMF apresentam diâmetro de casca de 125  $\mu\text{m}$ . Devido ao núcleo mais espesso, as fibras multimodo demandam uma precisão menor nas conexões, o que facilita as instalações e a torna mais barata. No entanto, a atenuação nestes cabos é maior. A Figura 3 mostra a diferença de propagação nesses dois tipos de fibras ópticas. Representa-se na fibra MMF caminho único para o sinal propagado e em MMF múltiplos caminhos para aquele sinal (MORIMOTO, 2008).

Figura 3. Tipos de fibras ópticas



Fonte: Ferreira (2013).

Os *switchs* de altas taxas de transmissão, apesar de serem fabricados para receberem conexões de cabos de fibras ópticas, trabalham internamente com sinais elétricos. Portanto é necessária uma conversão destes pulsos elétricos para feixes de luz ou vice-versa. Os equipamentos que realizam essa tarefa são chamados de *transceivers*.

Atualmente os *transceivers* mais comuns são os SFP (*Small Form-factor Pluggable*) e suas evoluções. O SFP pode ser considerado uma evolução dos *transceivers* GBIC. A grande diferença entre eles é enquanto o GBIC possui a interface de fibra SC, o SFP possui a interface LC, o que o faz ocupar menos espaço físico. O SFP suporta taxas de até 1 Gb/s, para alcançar taxas maiores, é necessário utilizar outro *transceiver*, o SFP+ que suporta até 10 Gb/s (FIBER OPTIC TRANSCEIVERS, 2014). Além destes, ainda existe o QSFP que suporta taxas de 1 Gb/s, porém em quatro canais, o QSFP+ que suporta quatro canais de 10 Gb/s e o QSFP28 que alcança os quatro canais de 25 Gb/s (GELLER, 2017). A Figura 4 ilustra os *transceivers* mais recentes, o QSFP+ e QSFP28.

Figura 4. Exemplos de transceivers QSFP+ e QSFP28



Fonte: Geller (2017).

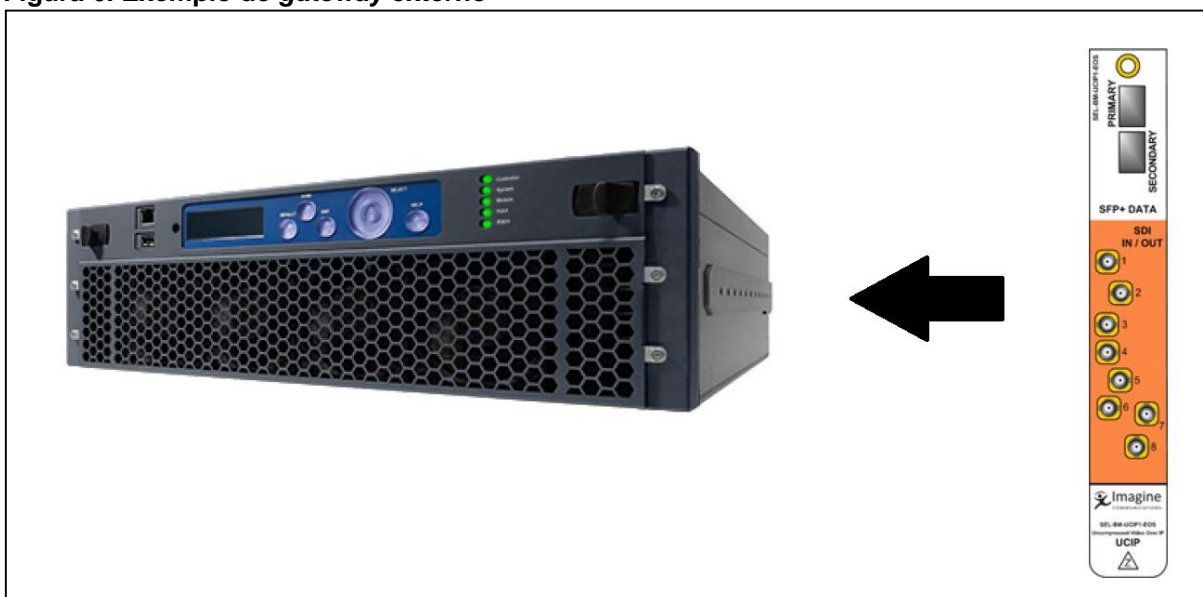
Conforme já mencionado, a transição de SDI para IP não deve ser abrupta, logo muitos sinais SDI devem ser convertidos em IP para ingressar na rede. Na seção Core, foi descrito como o sinal IP poderia ser convertido em SDI. Para a conversão de SDI para IP a solução é semelhante, pode-se utilizar um conversor (*gateway*) externo, assim como é possível empregar *gateways* diretamente nos *switchs* COTS, que são muito semelhantes aos SFPs, porém já convertem o sinal SDI em IP (SMPTE 2022; SMPTE 2110). A Figura 5 e a Figura 6, demonstram essas duas formas de *gateways* (EMBRIONIX, 2016).

Figura 5. Exemplo de *gateway* direto



Fonte: Embrionix (2016).

Figura 6. Exemplo de *gateway* externo



Fonte: Imagine Communications (2018).

### 3.2.1.3 Topologias

Os dispositivos de uma rede podem ser conectados de diversas maneiras. A maneira com que os dispositivos são conectados é chamada de topologia. Existem diversas topologias de rede. Neste tópico serão abordadas algumas delas.

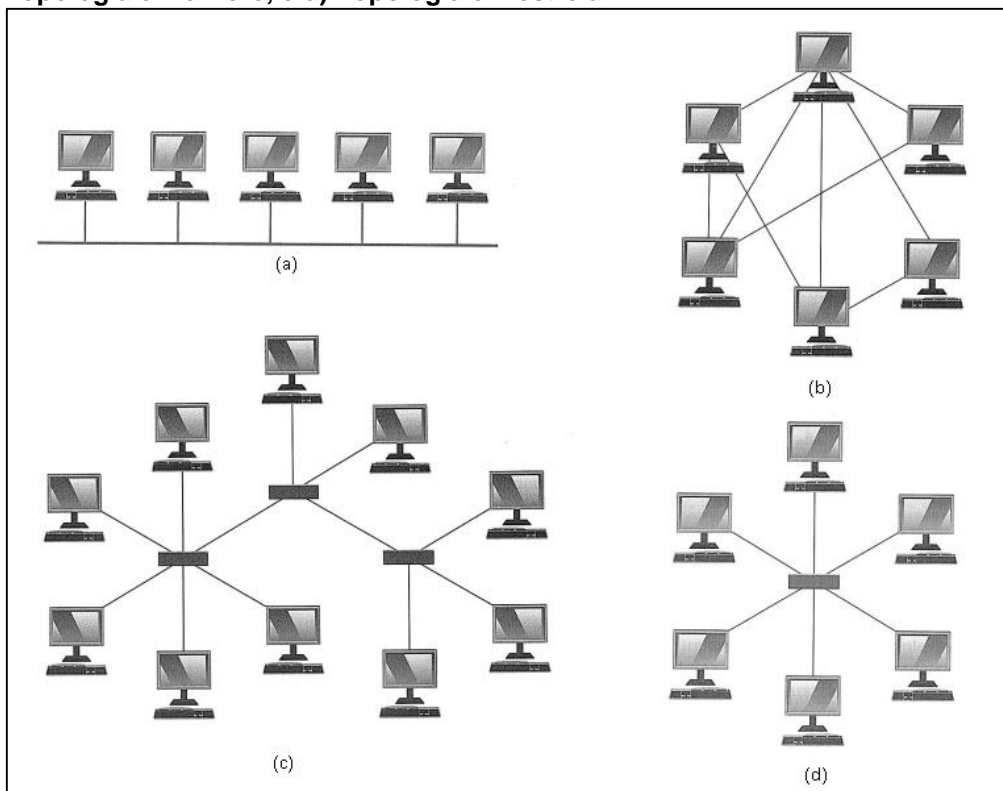
Uma daquelas topologias é denominada em malha. Nesta topologia, alguns dispositivos da rede devem estar conectados a múltiplos dispositivos. Desta forma obtém-se uma elevada redundância de caminhos. Caso todos os dispositivos da rede estejam conectados a todos os demais dispositivos, têm-se uma derivação da topologia em malha, é conhecida como topologia totalmente conectada, nela tem-se a maior redundância possível, porém é uma topologia inviável por requerer um enorme número de cabos e devido aos dispositivos normalmente não possuírem tantas portas de conexão conforme seria necessário (TORRES, 2014).

Outra topologia é a topologia em estrela. Neste caso os dispositivos são conectados a um concentrador central, normalmente um *switch*. Caso sejam utilizados mais de um concentrador e estes concentradores estiverem conectados, têm-se uma rede com a topologia em árvore (TORRES, 2014).

A Figura 7 facilita a compreensão de algumas destas topologias mencionadas. Existem também outras topologias como a em anel, em barramento, sem fio e topologias híbridas. No entanto, todas estas topologias são pouco utilizadas nas redes

de ambientes mais desenvolvidos. Atualmente as redes de empresas e *data centers* mais recentes costumam contar com topologias mais complexas como as topologias em três camadas e *Spine-Leaf*.

Figura 7. Exemplos de topologias: a) Topologia em barramento, b) Topologia em malha, c) Topologia em árvore, e d) Topologia em estrela

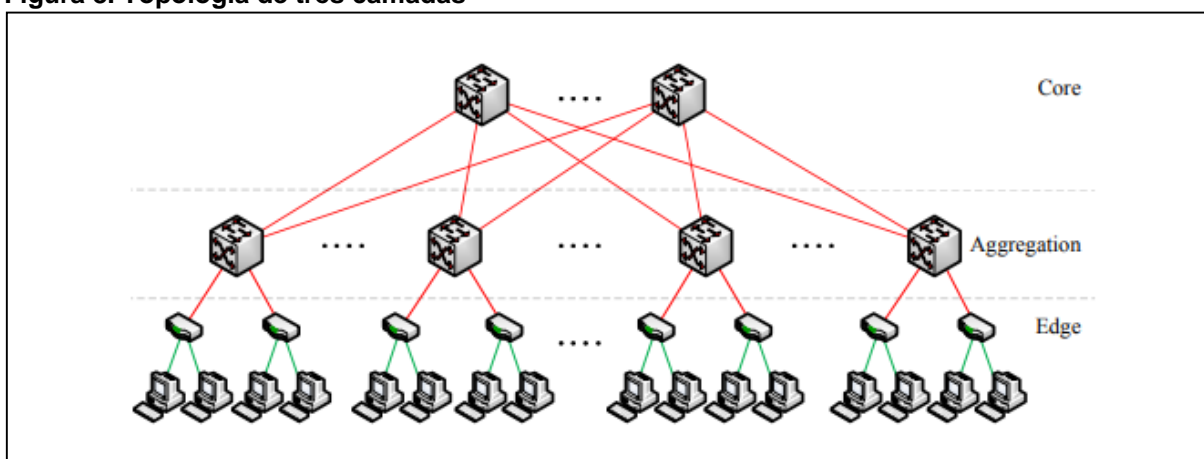


Fonte: Torres (2014).

### 3.2.1.3.1 Topologia em três camadas

Atualmente as topologias mais comuns em redes de *data centers* são hierárquicas e consistem em árvores de duas ou três camadas. Uma topologia de três camadas (*three-tiered*) tem uma camada núcleo (*core*) na raiz da árvore, uma camada de agregação ou distribuição e uma camada de borda ou acesso (*edge*) nas folhas da árvore. Uma topologia de duas camadas (*two-tiered*) carece da camada de agregação. A Figura 8 demonstra um exemplo de topologia de três camadas (AL-FARES; LOUKISSAS; VAHDAT, 2008).

Figura 8. Topologia de três camadas



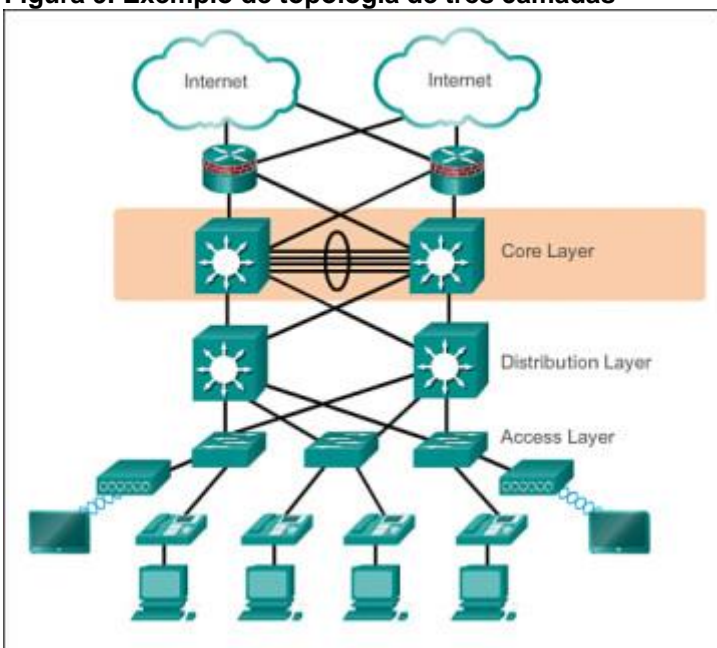
Fonte: Al-Fares, Loukissas e Vahdat (2008).

A distribuição da rede em camadas facilita a escolha certa dos componentes da rede conforme a função que este componente desempenhará e a camada em que será aplicado e permite a melhor utilização dos recursos. Além de favorecer um melhor aproveitamento da banda da rede

A camada de acesso fornece acesso dos dispositivos finais à rede e é geralmente composta de *switchs layer 2*. A camada de distribuição agrega os dados da camada de acesso e os transmite para a camada núcleo. A camada núcleo consiste de equipamentos com a capacidade de trafegar uma grande quantidade de dados a uma velocidade extremamente alta. Esta camada pode, por exemplo, conectar toda a rede a WAN, conforme ilustra a Figura 9.

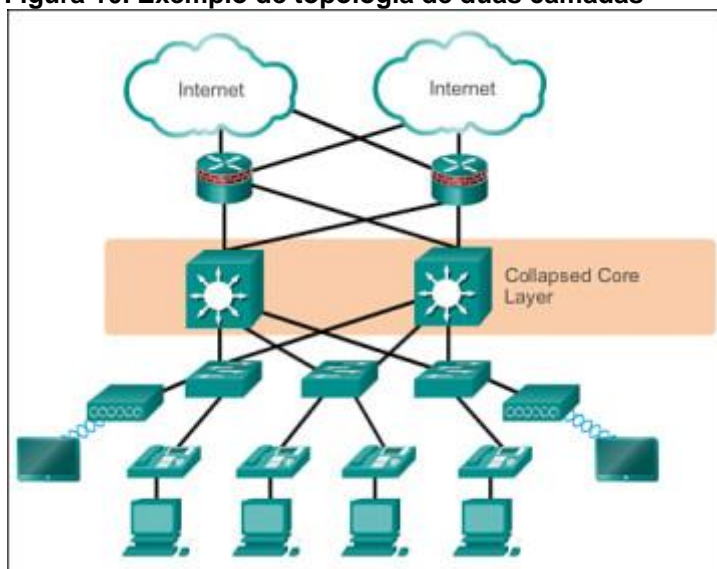
Para garantir redundância de conexão física (cabramento) os *switchs* são conectados através de mais de um caminho. No entanto, para evitar *loops* na rede devido a estes múltiplos caminhos, a topologia de três camadas utiliza o protocolo *Spanning Tree*. Este protocolo garante que apenas um dos caminhos redundantes permaneça ativo. Caso haja uma falha no caminho principal, a conexão redundante é ativada (CISCO NETWORKING ACADEMY, 2014).



**Figura 9. Exemplo de topologia de três camadas**

Fonte: Cisco Networking Academy (2014).

Em redes menores, é comum que a topologia seja diminuída para uma topologia de duas camadas. Nesse caso, o mais comum é que as camadas de núcleo e agregação sejam unidas em apenas uma camada, conforme a Figura 10. No entanto, apesar de raro, é possível que a união ocorra entre as camadas de agregação e acesso (CISCO NETWORKING ACADEMY, 2014).

**Figura 10. Exemplo de topologia de duas camadas**

Fonte: Cisco Networking Academy (2014).

### 3.2.1.3.2 Spine-Leaf

Devido ao crescimento de *data centers*, principalmente alavancado pela virtualização, o fluxo de dados das redes tem mudado de um fluxo vertical (também conhecido como *North-south*), no qual a maioria dos dispositivos se conectava a uma única saída ou a poucos servidores conectados à camada de core, para um fluxo horizontal (também conhecido como *East-west*), em que os dispositivos se comunicam mais entre si dentro da mesma rede (HUSSEMAN, 2015).

Com o fluxo sendo mais horizontal, uma nova topologia se popularizou. Trata-se da topologia *Spine-Leaf*, ou Arquitetura de Clos. Nela existem dois tipos de *switchs*: e *switchs Leaf* e os *switchs Spine*, mais robustos e com maior desempenho. Nesta topologia, todos *switchs Leaf* são conectados a todos os *switchs Spine*, conforme Figura 11 (NELSON, 2017).

Figura 11. Topologia *Spine-Leaf*



Fonte: Cisco (2016).

Diferente da topologia de três camadas, o *Spine-Leaf* não faz uso do protocolo *Spanning Tree*, mas sim do método de tráfego *Equal-Cost Multipathing* (ECMP). Desta forma, todas as conexões da topologia se mantêm ativas. Isso permite que o tráfego na rede seja distribuído por toda a rede, evitando congestionamento e aumentando a largura de banda (LAPPETELÄINEN, 2011). Além disso, a eliminação do protocolo *Spanning Tree* tornou as redes mais estáveis, pois a configuração do protocolo é bastante crítica e um pequeno erro poderia resultar em uma grande ineficiência no tráfego da rede (HUSSEMAN, 2015).

No entanto, as desvantagens do protocolo *Spanning Tree* consiste na necessidade de um grande número de cabos para efetuar todas as conexões já mencionadas. Existe também uma limitação no número de *hosts* suportados pela rede. Essa limitação é relacionada com o número de portas que possuam os *switchs Spine*. Estas portas seriam necessárias conforme ocorra aumento o número de

*switchs Leaf* incorporados à rede. Outra desvantagem seria no pior desempenho em conexões a redes externas, uma vez que esta topologia é otimizada para um tráfego horizontal e não vertical (NELSON, 2017).

## 4 FLUXO SOBRE IP

Com a mudança do protocolo de comunicação (SDI para IP) muito se pesquisou sobre qual a melhor maneira de realizar essa transição. Muitas organizações se uniram ou foram criadas no propósito de estudar e definir padrões para que a transição seja suave e que a indústria *broadcast* permanecesse robusta e preparada para os desafios futuros. Algumas destas organizações e seus trabalhos nesse quesito são abordados nesse capítulo.

### 4.1 ORGANIZAÇÕES

Os primeiros desenvolvimentos de produtos e soluções para trafegar vídeo não comprimido sobre IP foram realizados sem a existência de um padrão que abordasse todas as vantagens que esta nova tecnologia dispunha. Para evitar que as próximas soluções fossem desenvolvidas sem um padrão e garantir a interoperabilidade entre os novos sistemas, diversas empresas, alianças, associações e organizações se uniram para a criação de um padrão e pesquisar o que poderia ser aproveitado da mudança de tecnologia. Algumas delas são:

A *International Trade Association For Broadcast & Media Technology* (IABM) é uma associação de fornecedores de tecnologia de mídia e *broadcast* que visa auxiliar seus membros a melhorar seus negócios, fornecendo informações, treinamento e compartilhamento das melhores práticas através da interação entre os seus membros (IABM, 2018).

A *Advanced Media Workflow Association* (AMWA) é outra associação que está focada na transição da indústria para arquiteturas IP. A *Networked Media Open Specifications* (NMOS) é um conjunto de especificações criadas pela AMWA em projetos de interoperabilidade entre fornecedores *broadcast* (AMWA, 2018).

A *Alliance For IP Media Solutions* (AIMS) é uma aliança composta de muitos engenheiros, vendedores e executivos de diversas empresas que visa prover padrões a serem usados por empresas de mídia e *broadcast* para realizar a transição entre o sistema SDI para um ambiente IP virtualizado. Com quase 100 grandes empresas de *broadcast* como membros, ela almeja diminuir drasticamente os gastos e os riscos na

mudança de tecnologia. Ela visa reunir e adotar as melhores práticas das demais organizações e não competir com elas (AIMS, 2018).

A *Audio Engineering Society* (AES) foi criada em 1948 nos Estados Unidos. É a única sociedade dedicada exclusivamente à tecnologia acústica. Hoje é uma sociedade internacional que conta com mais de 12.000 membros (AES, 2018).

A *Video Services Forum* (VSF) é uma associação internacional dedicada à interoperabilidade, qualidade e treinamento para tecnologias de mídia em rede (VIDEO SERVICES FORUM, 2018). Responsável pela publicação e recomendações técnicas que foram base para o desenvolvimento da SMPTE 2110.

#### 4.1.1 SMPTE

A *Society of Motion Pictures and Television Engineers* (SMPTE) foi fundada em 1916 com o intuito de trazer e avanços teóricos e práticos na área de filmes e televisão e de disseminar informações técnicas através de conferências e publicações (FIELDING, 1967).

Ganhadora de um Oscar e um Emmy, a SMPTE contribuiu com avanços significativos desde a introdução de áudio e cor nas imagens há vários anos como na evolução da transmissão de televisão em ultra alta definição (UHD) (4K, 8K) que vem sendo estudada nos últimos anos (SMPTE, 2017).

Um dos primeiros grandes desafios da SMPTE neste seu segundo século de existência é garantir a interoperabilidade, conforme a indústria evolui para fluxos de trabalho baseados em IP e com tecnologia de informação (TI). Para alcançar esse objetivo, a SMPTE tem trabalhado com muito esforço na finalização e publicação do conjunto de padrões SMPTE 2110 que será abordada com mais profundidade nos capítulos seguintes (SMPTE, 2017).

## 4.2 PADRÕES E RECOMENDAÇÕES

### 4.2.1 SMPTE 2022

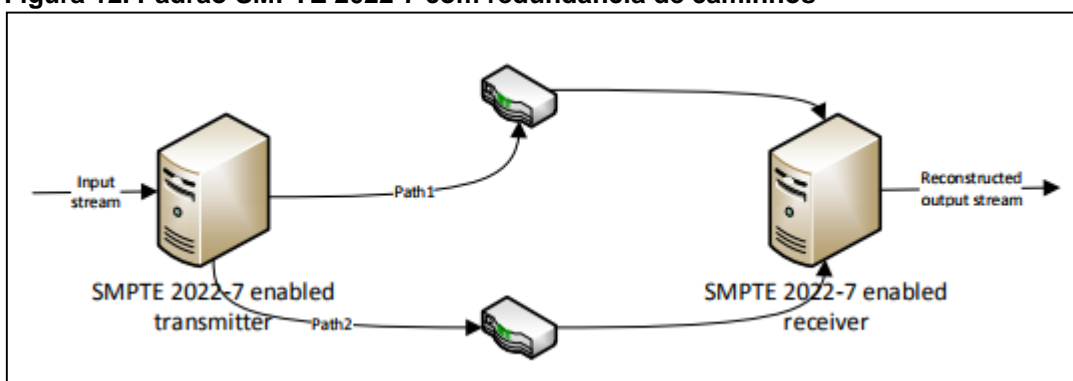
Em 2007 a SMPTE publicou o padrão SMPTE 2022, devido ao enorme apelo dos fabricantes de sistemas de rádio difusão por um padrão de tráfego de vídeo sobre IP. Este padrão foi dividido em sete seções (SIMPSON, 2013).

As primeiras duas seções cobriam protocolos IP para sinais de vídeo comprimidos, de taxa de bit constante em fluxos de transporte MPEG-2, baseados em *Code of Practice* (COP3), originalmente criado pelo Pro MPEG Forum (ERICSSON, 2016). Essas duas seções são conhecidas como SMPTE 2022-1/2. A seção seguinte, a SMPTE 2022-3, é relacionada com o transporte de unidirecional de pacotes MPEG-2 com taxa de bits variável. Já o SMPTE 2022-4 é similar à seção anterior, porém sem a limitação na taxa de bits.

Com o aumento da capacidade das redes de suportar interfaces de 10 Gb/s, passou a ser possível trafegar vídeos em alta definição (HD) não comprimidos sobre IP. Então em fevereiro de 2011 foi publicada a seção 5 do SMPTE 2022. Esta seção expande a seção 1 permitindo aumentar as linhas e colunas de FEC para suportar sinais de 3 Gb/s ou mais. Já a seção SMPTE 2022-6 refere-se ao Transporte de Sinais de Mídia com Altas Taxas de Bits sobre Redes IP (HBRMT) e especifica uma forma de transmitir sinais de alta taxa de bit (como 3 Gb/s para a resolução de 1080p) sem a necessidade de encapsulamento em MPEG-2.

A SMPTE 2022-7 diz respeito à redundância de sinais sobre IP. Um transmissor que englobe o padrão SMPTE 2022-7 duplica o fluxo recebido e os transmite através de dois caminhos. Um receptor SMPTE 2022-7 recebe os dois fluxos e reconstrói um único fluxo. Caso algum pacote seja perdido do primeiro fluxo, o receptor tenta preenchê-lo com o pacote do segundo fluxo. Caso o primeiro fluxo seja totalmente perdido, o receptor continua recebendo o sinal através do segundo fluxo e vice-versa, conforme representação da Figura 12. Todas estas transições devem ocorrer sempre sem perdas. Portanto, esta seção traz mais confiabilidade ao sinal (DEKTEC, 2018).

Figura 12. Padrão SMPTE 2022-7 com redundância de caminhos



Fonte: Dektec (2018).

#### 4.2.2 Recomendação Técnica 03 (TR-03)

Buscando contribuir com o desenvolvimento de padrões, a VSF publicou duas recomendações técnicas para o transporte de vídeo sobre IP, a TR-01 e a TR-02. Contudo estas recomendações ainda tratavam sobre o transporte de vídeo comprimido sobre IP.

Posteriormente a VSF publicou no mesmo dia, 15 de Novembro de 2015, duas recomendações técnicas referentes. Especificamente, ao tráfego de vídeo não comprimido sobre IP. Tratam-se das recomendações técnicas TR-03 e TR-04.

A TR-03 tem como título o Transporte de Fluxo de Mídia Elementar não Comprimido sobre IP. O que difere esta recomendação técnica das práticas utilizadas anteriores a ela é o fato de tratar os fluxos de vídeo, áudio e dados de forma separada. As práticas anteriores faziam a multiplexação destes três fluxos no SDI e depois era feito o encapsulamento. Nesta recomendação, cada fluxo pode ser encaminhado individualmente pela rede.

Estes sinais devem seguir o protocolo IPv4 sincronizados através do protocolo PTP. Também devem permitir fluxos *multicast* e *unicast*. O fluxo de vídeo deve seguir o padrão RFC4175, enquanto que o fluxo de áudio deve seguir o padrão AES 67. O fluxo de dados auxiliares deve ainda seguir o esboço *draft-ietf-payload-rtp-ancillary* (VIDEO SERVICES FORUM, 2015a).

#### 4.2.3 Recomendação Técnica 04 (TR-04)

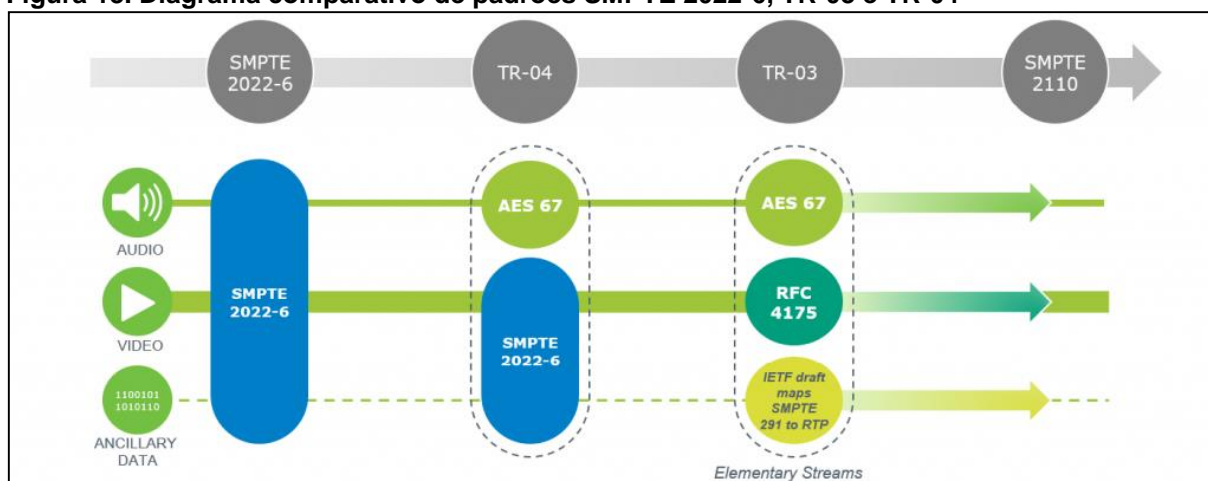
O desenvolvimento de soluções para tráfego de vídeo não comprimido sobre IP ocorreu antes da publicação da recomendação técnica TR-03. Portanto, quando a TR-03 foi publicada, já havia equipamentos que trafegavam em IP utilizando dos padrões SMPTE 2022-6 e 7, por exemplo.

Para aproximar a compatibilidade destes padrões, foi publicada a TR-04. Esta recomendação permite que o fluxo de vídeo siga o padrão SMPTE-2022-6, porém com algumas considerações importantes de sincronia, integração com a FEC do padrão 2022-5 e a proteção do 2022-7, bem como a possibilidade do tráfego de um fluxo de áudio AES67 separado devido ao alto grau de demanda de processamento apenas de áudio do sinal encapsulado (VIDEO SERVICES FORUM, 2015b).

Um exemplo de protocolo de descrição de sessão (SDP), contendo dois fluxos de vídeo, um de áudio com seis canais e um de dados auxiliares pode ser conferido no Apêndice A.

A Figura 13 resume as principais diferenças entre o padrão SMPTE 2022-6 e as recomendações técnicas TR-03 e TR-04.

**Figura 13. Diagrama comparativo de padrões SMPTE 2022-6, TR-03 e TR-04**



Fonte: Nevion (2016).

#### 4.2.4 SMPTE 2110

Em Dezembro de 2017 a SMPTE publicou os primeiros quatro documentos do padrão SMPTE 2110. São eles:



- ST 2110-10:2017 - SMPTE Standard - Professional Media Over Managed IP Networks: System Timing and Definitions.
- ST 2110-20:2017 - SMPTE Standard - Professional Media Over Managed IP Networks: Uncompressed Active Video.
- ST 2110-21:2017 - SMPTE Standard - Professional Media Over Managed IP Networks: Traffic Shaping and Delivery Timing for Video.
- ST 2110-30:2017 - SMPTE Standard - Professional Media Over Managed IP Networks: PCM Digital Audio.

#### 4.2.4.1 SMPTE 2110-10

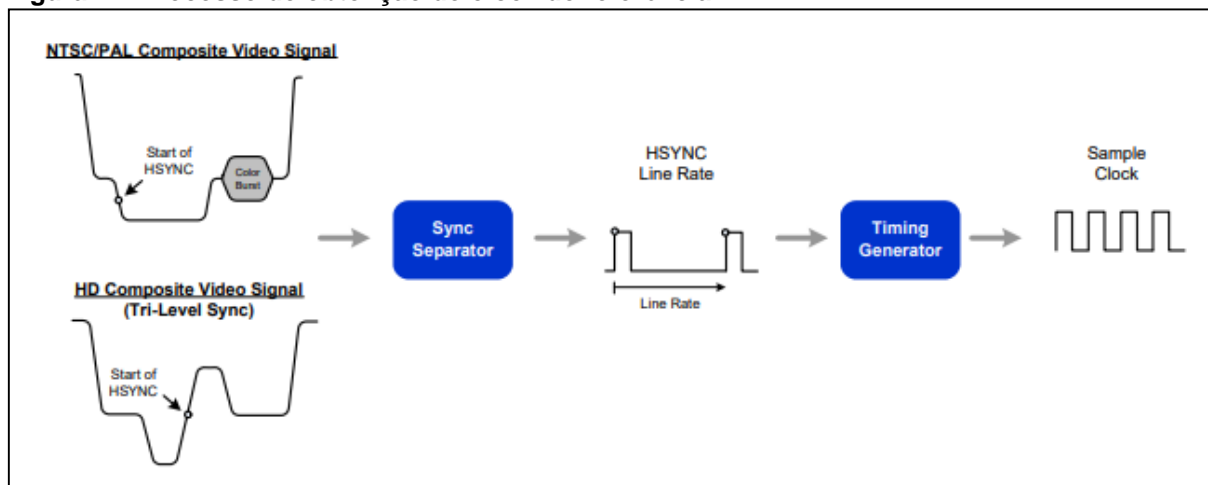
A primeira publicação, SMPTE 2110-10, aborda a sincronização de tempo nas transmissões em IP. Essa sincronização é muito importante para que os sinais de vídeo sempre estejam sincronizados, ou seja, para que cada quadro de uma fonte de vídeo comece exatamente no mesmo momento que os quadros de outra fonte, para que caso haja uma transição (corte) entre essas fontes esta transição ocorra sem perda de sinal no destino (WORSHIP IMAG, 2011).

No mundo SDI essa precisão é feita através de um sinal de referência, processo também conhecido por *genlocking*. Essa referência informa o *clock* do sinal e o tempo do início de um quadro do vídeo e ela deve estar conectada a cada um dos equipamentos que geram sinais de vídeo no sistema. Os sinais estando referenciados viabilizam, por exemplo, o corte limpo entre duas fontes de sinais.

Esse sinal de referência pode ser simplesmente um sinal de vídeo analógico preto (*black burst*) sem informações de vídeo. Um separador de sincronismo separa apenas a porção de tempo do sinal, ou seja, ele detecta o início de uma linha de vídeo horizontal (HSYNC) do sinal de *black burst* e indica esse momento através de um pulso, filtrando todo o restante do sinal. A frequência desses pulsos depende da taxa de frames e da resolução do sinal de vídeo. Em seguida um gerador de tempo gera o sinal de *clock* através da multiplicação dos pulsos de HSYNC pelo número de pixels que cada linha horizontal possui. O resultado é um sinal de *clock* cuja frequência é a multiplicação do número de pixels das linhas horizontais pela frequência dos pulsos

HSYNC. Esse *clock* é utilizado para sincronizar o início de cada linha dos sinais de vídeo referenciados a ele. Esse processo é mostrado na Figura 14 (SILICON LABS, 2009).

Figura 14. Processo de obtenção de *clock* de referência



Fonte: Silicon Labs (2009).

Já no mundo IP, essa referência deve estar distribuída pela rede e isso é feito através do protocolo de precisão de tempo (PTP), ou IEEE 1588-2008.

#### 4.2.4.1.1 Protocolo de precisão de tempo (IEEE 1588)

O protocolo IEEE 1588 também é conhecido como Protocolo de Precisão de Tempo (PTP) e é definido como:

“Um protocolo que permite a sincronização precisa de relógios em sistemas de medida e controle implementados com tecnologias como comunicação em rede, computação local e objetos distribuídos.” (IEEE, 2008).

Este protocolo foi desenvolvido com as premissas de não necessitar grande banda na rede ou processamento e ser tolerante a falhas. O PTP foi publicado em 2002 e é aplicável em redes que permitam o tráfego *multicast*. Ele define algumas características para classificar a qualidade dos relógios da rede e utiliza-se do algoritmo de melhor relógio *master* (BMC) para determinar qual é o melhor relógio da rede e o transforma no que é chamado de relógio *grandmaster*. Os demais relógios tornam-se relógios escravos.

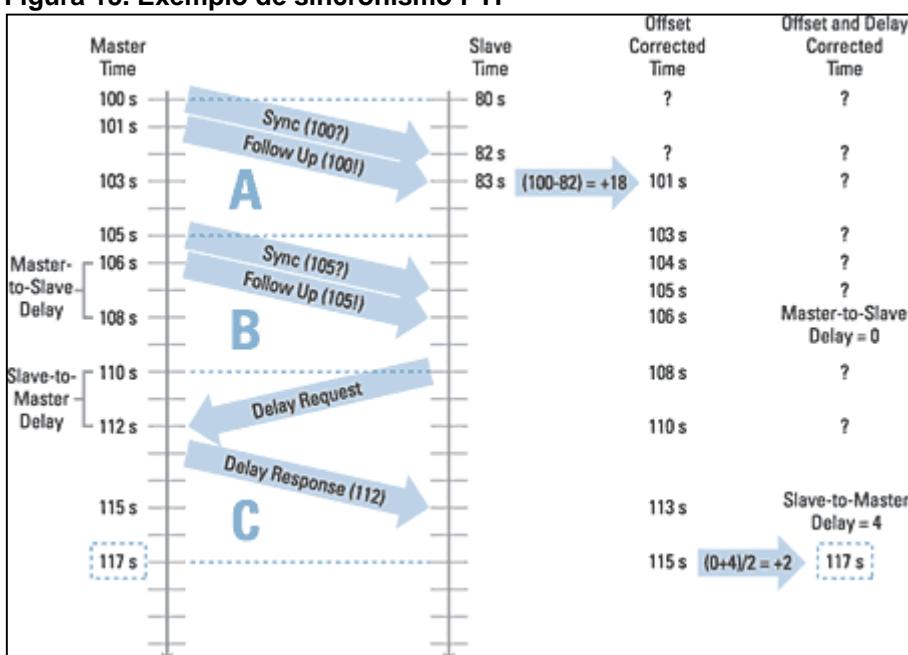
Caso o relógio *grandmaster* seja retirado da rede ou suas características se alterem a ponto de não ser mais o melhor relógio da rede, o BMC seleciona outro relógio como o *grandmaster*.

Para sincronizar os relógios escravos, o *grandmaster* envia um pacote de sincronismo contendo o *timestamp* do momento em que o pacote é enviado. O relógio escravo recebe esse pacote e calcula a diferença entre o seu horário e o do pacote recebido e o ajusta. Isso corrige a diferença entre os relógios, mas ainda não compensa o atraso que há no transporte destes pacotes. Então o relógio escravo envia uma requisição de atraso (*Delay Request*). O *grandmaster* recebe esta mensagem e responde com o seu tempo atual. O PTP considera que o atraso de transporte da mensagem é simétrico, então, ao receber a resposta, o relógio escravo soma o atraso de ida e de volta e divide por dois. Dessa forma, ele consegue determinar o atraso da propagação da rede e compensar esse atraso no seu relógio para ficar sincronizado com o *grandmaster*.

Caso a rede não consiga estipular de antemão o horário exato da saída do pacote, é enviada uma mensagem *follow up* com o *timestamp* exato em que a mensagem *sync* foi enviada.

A Figura 15 exemplifica esse sincronismo. No exemplo, o relógio *grandmaster* inicia-se em 100s enquanto o escravo dessincronizado é iniciado em 80s. Em seguida são enviadas pelo *grandmaster* as mensagens de *sync* e *follow up*. O relógio escravo recebe as mensagens e corrige o seu relógio somando a ele diferença entre o *timestamp* recebido do *grandmaster* (100s) e o seu *timestamp* no momento em que a mensagem *sync* foi recebida (82s). Depois mais uma mensagem *sync* e *follow up* são enviadas, mas não são processadas, pois o *timestamp* do escravo já está sincronizado, restando apenas a compensação do atraso de propagação da rede. Para realizar essa compensação, o relógio escravo envia um *delay request* e guarda o momento em que a mensagem foi enviada (108s). O *grandmaster* responde esta mensagem com o *timestamp* do momento em que recebeu o *delay request* (112s). A diferença entre o *timestamp* do escravo no momento em que o *delay request* foi enviado e o *timestamp* recebido é o atraso de ida e volta na rede (4s). Dividindo esse atraso por dois, é obtido o atraso de propagação da rede (2s). Esse atraso é somado ao *timestamp* do escravo, finalizando o processo de sincronismo (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016).

Figura 15. Exemplo de sincronismo PTP



Fonte: National Instruments (2016).

Dependendo da rede e dos dispositivos, esse sincronismo pode ocorrer em frequências variadas, mas usualmente ocorrem a cada dois segundos e mensagem de requisição de atraso a cada um minuto.

Com a sincronização dos tempos de todos os sinais da rede, é possível fazer com que o início de cada quadro de cada sinal de vídeo na rede esteja sincronizado com os demais sinais. Isso permite um corte limpo nos sinais de vídeo trafegados em protocolo IP.

#### 4.2.4.2 SMPTE 2110-20 e 21

O documento da SMPTE 2110 que aborda o empacotamento da parte de vídeo do sinal foi desenvolvido com base no projeto RFC 4175. O RFC 4175 define um esquema para empacotar sinais de vídeo descomprimidos em alta definição. As representações desses sinais de vídeo estão nos padrões SMPTE 274M e 296M. O padrão 274M define sinais de vídeo progressivos e entrelaçados com resolução de 1920x1080 *pixels*, enquanto que o 276M define sinais progressivos de resolução 1280x720 *pixels*.

Cada linha horizontal de vídeo deve ser empacotada em um ou mais pacotes RTP, porém se o pacote exceder o MTU, ele deve ser fragmentado em pacotes menores. O grande diferencial do RFC 4175 é que apenas amostras de vídeo ativas

são incluídas no pacote RTP. As informações do número de linhas e um identificador de entrelaçamento devem estar no cabeçalho do pacote.

Cada *pixel* de cada linha do vídeo é representado por um número de amostras. Essas amostras podem representar um componente de cor ou de luminância e podem ser codificadas em 8, 10, 12 ou 16 bits. Os *pixels* devem sempre ser transportados em grupos de mesmo valor de codificação. Esses grupos são chamados de “*pixel group*” (*pgroup*). Quando uma amostra for codificada em 10 ou 12 bits, os *pixels* destas amostras devem sempre formar um grupo que a quantidade total de bits do grupo seja divisível por oito. Caso a amostra de cor seja compartilhada entre vários pixels, através do esquema de subamostragem de cor (*Chroma sub-sampling*), estes pixels devem ser transportados juntos. Dessa forma, garante-se que no receptor um *pixel* nunca estará fragmentado em diferentes pacotes e que estes os pacotes transmitidos sempre terão seu tamanho divisível por oito.

Representando em um exemplo: caso seja utilizada a codificação de 10 bits e para um vídeo com subamostragem de cor 4:2:0, a RFC 4175 determina que os *pixels* que compartilham amostragens devem ser transportados juntos. Nesse caso, os quatro *pixels* que compartilham amostra de cor devem ser transportados juntos, formando um grupo de 60 bits. Como 60 não é divisível por 8, os próximos *pixels*, que também compartilham a amostra de cor, devem se juntar a esse *pgroup*, formando um grupo de 120 bits que é divisível por 8. Logo, esse grupo será empacotado em um *pgroup* de 15 octetos.

Em aplicações de vídeo profissionais as demais informações do vídeo como áudio e dados auxiliares estão normalmente inseridas na parte não ativa do fluxo de vídeo. Portanto, isso não deve interferir no empacotamento do sinal de vídeo pelo RFC 4175.

#### 4.2.4.3 SMPTE 2110-30 e 31

A SMPTE 2110-30 remete ao tráfego do áudio neste no fluxo de um sistema IP. Este documento foi desenvolvido baseado no protocolo AES67.

#### 4.2.4.3.1 Padrão AES67

A AES publicou em Setembro de 2013 a primeira edição do padrão *AES67-2015: AES standard for audio applications of networks - High-performance streaming audio-over-IP interoperability*. Este padrão foi desenvolvido no intuito de padronizar e garantir a interoperabilidade de sistemas de áudio em redes.

O AES67 padroniza como deve ser um pacote de uma amostra de áudio PCM. Quatro itens nessa padronização são extremamente importantes.

O primeiro é a sincronização que deve ser feita também utilizando o PTP. Com o PTP é possível determinar a amostragem do sinal de áudio e gerar os RTP *timestamps*.

O segundo item é o transporte destes pacotes que deve ser realizado utilizando o protocolo de transporte de tempo-real (RTP) sobre o protocolo de datagrama de usuário (UDP) em IPv4. O AES67 permite que o fluxo seja tanto *unicast* como *multicast*, porém o mercado broadcast costuma utilizar muito mais o *multicast*. Como o padrão exige o fluxo *multicast* aliado ao PTP, os dispositivos que compatíveis ao AES67 devem suportar IGMP.

O terceiro é o encapsulamento do sinal de áudio. Os AES67 permite que os sinais de áudio sejam amostrados em 44,1kHz, 48kHz ou 96kHz, tenham resolução de 16 ou 24 bits e tempo de pacote deste 62,6µs a 4ms. O número de canais máximo suportado dependerá o a unidade de transmissão máxima (MTU) da rede. No entanto, todos os dispositivos compatíveis ao AES67 devem necessariamente suportar uma taxa de amostragem de 48kHz, uma resolução de 16 e 24 bit, um intervalo de 1ms e de 1 a 8 canais de áudio. A MTU mínima, em *bytes*, suportada pelo equipamento deve satisfazer a equação (1). A Tabela 3 e a Tabela 4 são representações das MTUs mínimas que os equipamentos precisam, devem ou podem suportar para uma amostragem de 48kHz e resolução de 24 bits e 16 bits, respectivamente (WHITCOMB, 2017).

$$MTU \text{ (em bytes)} = \frac{n^{\circ} \text{ canais} \times \text{resolução} \times \text{amostragem} \times \text{intervalo}}{8} \quad (1)$$

Tabela 3. Tamanho do pacote (em *bytes*) para amostragem de 48kHz e resolução de 24 *bits*

Canais de áudio	Intervalo de tempo dos pacotes ( $\mu$ s)							
	62.5	125	250	333.3	500	1000	2000	4000
1	9	18	36	48	72	144	288	576
2	18	36	72	96	144	288	576	1152
3	27	54	108	144	216	432	864	
4	36	72	144	192	288	576	1152	
5	45	90	180	240	360	720	1440	
6	54	108	216	288	432	864		
7	63	126	252	336	504	1008		
8	72	144	288	384	576	1152		
12	108	216	432	576	864			
16	144	288	576	768	1152			
20	180	360	720	960	1440			
24	216	432	864	1152				
32	288	576	1152					
40	360	720	1440					
48	432	864						
56	504	1008						
64	576	1152						
72	648	1296	Receptores AES67 precisam obrigatoriamente suportar					
80	720	1440	Receptores AES 67 devem suportar					
88	792		Receptores AES 67 podem suportar					
96	864							
128	1152							

Fonte: Whitcomb (2017).

Tabela 4. Tamanho do pacote (em *bytes*) para amostragem de 48 kHz e resolução de 16 *bits*

Canais de áudio	Intervalo de tempo dos pacotes ( $\mu$ s)							
	62.5	125	250	333.3	500	1000	2000	4000
1	6	12	24	32	48	96	192	384
2	12	24	48	64	96	192	384	768
3	18	36	72	96	144	288	576	
4	24	48	96	128	192	384	768	
5	30	60	120	160	240	480	960	
6	36	72	144	192	288	576		
7	42	84	168	224	336	672		
8	48	96	192	256	384	768		
12	72	144	288	384	576			
16	96	192	384	512	768			
20	120	240	480	640	960			
24	144	288	576	768				
32	192	384	768					
40	240	480	960					
48	288	576						
56	336	672						
64	384	768						
72	432	864	Receptores AES67 precisam obrigatoriamente suportar					
80	480	960	Receptores AES 67 devem suportar					
88	528		Receptores AES 67 podem suportar					
96	476							
128	768							

Fonte: Whitcomb (2017).

O último item refere-se à SDP do fluxo. O AES67 define algumas informações que devem estar no SDP, porém não crava como estas informações devem estar distribuídas. Um exemplo de SDP pode ser conferido no Apêndice B (WHITCOMB, 2017).



#### 4.2.4.4 Demais documentos esperados

Além dos documentos já publicados, a SMPTE já divulgou em *Webinar* que outros dois documentos do padrão devem ser publicados nos próximos meses, são eles:

- ST 2110-40: Ancillary Data.
- ST 2110-50: Integration with ST 2022-6.

O primeiro documento deve consolidar o trabalho em desenvolvimento de *IETF – RTP Payload For Ancillary Data* ou utilizar o documento *Request for Comments* (RFC) resultante deste processo, assim como foram abordados os dados auxiliares na VSF TR-03.

Enquanto que o segundo documento deve tratar mais detalhadamente da integração com os fluxos SDI encapsulados em IP (SMPTE 2022-6) de forma semelhante que a VSF TR-04 tratou esse tema.

## 5 NOVOS WORKFLOWS

Espera-se que as empresas *broadcast* do futuro sejam flexíveis, escaláveis e trabalhem em diversos formatos de vídeo e rodando em equipamentos COTS. Isso pode ser alcançado através de um ambiente virtualizado.

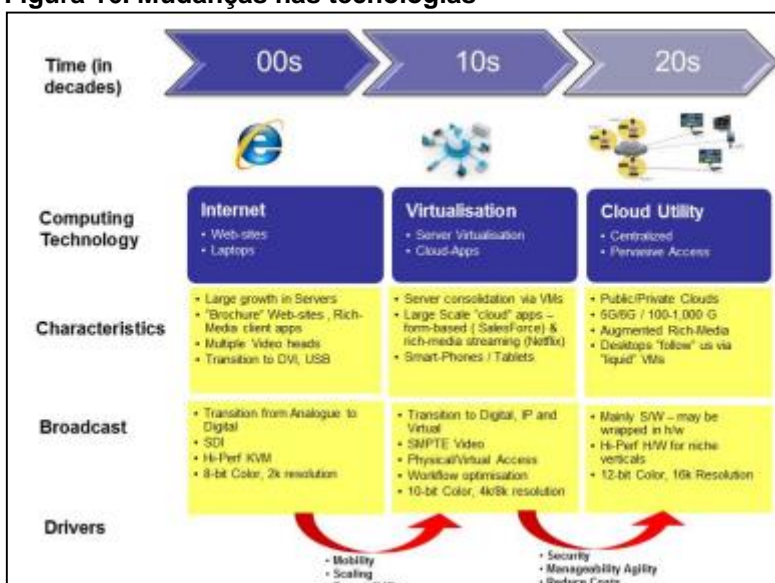
Na década de 60 a IBM iniciou as pesquisas em virtualização, mas essa tecnologia reemergiu e disseminou na indústria apenas nos anos 2000 alavancada por empresas como a VMWare e a Citrix. A virtualização é um mecanismo que divide os recursos de um servidor para serem compartilhados entre diversas aplicações (geralmente um sistema operacional completo). A virtualização pode ser aproveitada no meio *broadcast* através da otimização dos recursos disponíveis para o processamento de mídias (HICKEY, 2017).

Uma grande vantagem da virtualização remete as soluções baseadas em *software* (SBS), ou seja, soluções que não dependem de um *hardware* específico.

As SBS podem ser criadas e destruídas conforme necessidade e podem inclusive estar em uma nuvem pública. Por exemplo, poderia ser contratado um serviço de exibição de vídeo na nuvem. Nesse caso, através de uma conexão com a Internet poderiam ser recebidos, através de um único cabo de fibra óptica, diversos sinais de vídeo da sua exibição, um HD, outro 4K, outro em baixa resolução para mídias sociais ou OTT, entre outros. Tudo isso sem a necessidade da aquisição de nenhum *hardware* de processamento de vídeo (EDWARDS, 2017).

O próximo passo da virtualização, conforme citado, é que esta tecnologia seja atrelada à nuvem, conforme ilustra a Figura 16. Supondo que a maior parte do processamento do sinal de vídeo seja feito em servidores virtualizados na nuvem, acredita-se que o modelo de negócios das empresas *broadcast* mude muito. As empresas poderiam tornar-se Orquestradores de Difusão (*Broadcast Orchestrators*) ou Criadores de conteúdo ao vivo (*Live Content Creators*). O primeiro modelo de negócio seriam os detentores das plataformas de exibição, seja um canal de televisão ou um canal online. Contariam com pouca infraestrutura apenas para distribuir o sinal recebido e monetizar através de publicidade. Seria um modelo similar ao Uber ou Airbnb, ou seja, assim como essas empresas não possuem o carro ou o imóvel, os orquestradores não precisariam produzir seu próprio conteúdo. Elas poderiam comprar este conteúdo do segundo modelo de negócio, ou simplesmente exibir um conteúdo já gravado e arquivado dentro da nuvem (HICKEY, 2017).

Figura 16. Mudanças nas tecnologias



Fonte: Hickey (2017).

Algumas empresas globais já estão adotando parte dessas mudanças de modelo. Por exemplo, a Disney/ABC está mudando o controle de seus canais de uma estação física para modelos em nuvem. Enquanto que a BBC está movendo o seu armazenamento de arquivos de áudio, mixagem e exibidoras para um *data center* centralizado, de forma que as emissoras remotas possam acessar os mesmos recursos (HICKEY, 2017).

Se somados a esse novo modelo de trabalho a vantagem dos fluxos de áudio, vídeo e dados independentes do padrão SMPTE 2110 (e recomendação técnica TR-03), passa-se a aproveitar de uma grande economia de banda. Caso algum sinal necessite de algum processamento de áudio apenas, não será mais necessário o trabalho de enviar todo um fluxo pesado de sinal embebido, desembebedar, processar, reembebedar e retornar novamente um fluxo relativamente muito maior. Bastará enviar um fluxo muito menor, apenas com o áudio, até a solução que o processará e o retornará.

Além das vantagens da virtualização, outra grande vantagem que a transição para o IP sustenta é a redução de custos para as produções remotas, principalmente ao vivo.

Devido ao grande investimento das empresas de telecomunicações em infraestrutura, atualmente existe *links* de alta capacidade entre os locais de eventos e o local de produção. Esses *links* podem ser utilizados para o envio de todos os sinais captados no evento para um local único de produção. Isso resulta em uma grande

economia na produção do evento. Dessa forma, reduzem-se tanto os custos de transporte de todos os equipamentos de produção de um evento para o outro como os custos de transporte de parte da equipe de produção do evento.

A *PAC-12 Networks*, uma rede americana de produção voltada a esportes, migrou sua produção para IP. Com exceção da captação dos sinais, ela realiza toda a produção remotamente dentro do seu estúdio na Califórnia, ao invés de produzir todo o evento no local do evento. Isso resultou em uma economia de US\$12.000,00 a US\$15.000,00 por evento. Considerando que a PAC-12 costuma produzir 850 eventos por ano, estima-se que a economia ao ano seja na faixa de mais de 11 milhões de dólares (IVE, 2015).

## 6 ESTUDO DE CASOS

### 6.1 NOVA SEDE DE EMISSORA EM RECIFE

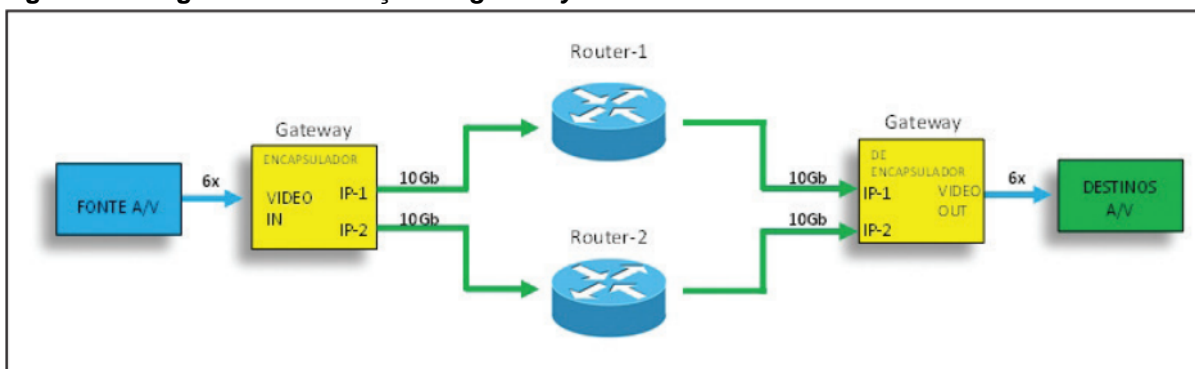
Em 2014, na cidade de Recife, foi iniciada a construção de uma nova sede de uma das maiores emissoras de televisão do Brasil. O projeto inicial tratava-se apenas da transferência de localização da infraestrutura existente para a nova sede. No entanto, após estudos das novas tecnologias emergentes, foi imposta a premissa de que a nova sede deveria contar com uma infraestrutura mais preparada para o futuro, principalmente com relação a equipamentos e cabeamentos.

Devido a esta premissa, optou-se pelo pioneirismo com a implantação da tecnologia de tráfego de vídeo sobre IP. Contudo, como os desenvolvimentos nesta área ainda estavam apenas começando, o sistema IP utilizado é um sistema híbrido, com parte dos equipamentos trafegando os sinais no protocolo SDI e outros trafegando em IP.

Os elementos em IP consistem em *switches* de alto desempenho e de servidores SDN (*Software Defined Network*). Os *switches* são controlados pelos servidores SDN e controlam todo o fluxo de sinais em IP da rede.

Para viabilizar que o sistema seja híbrido em IP/SDI, foi necessário a inclusão de *gateways* no sistema. Estes *gateways* fazem a conversão do protocolo SDI para o IP ou do IP para o SDI e suportam até 10 Gb/s de tráfego. Como o padrão brasileiro de televisão opera com sinais 1080i, os *gateways* podem suportar até seis sinais SDI, cada um de 1,485Gb/s, totalizando 8,91Gb/s em cada fluxo IP, conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17. Diagrama da utilização de *gateways*



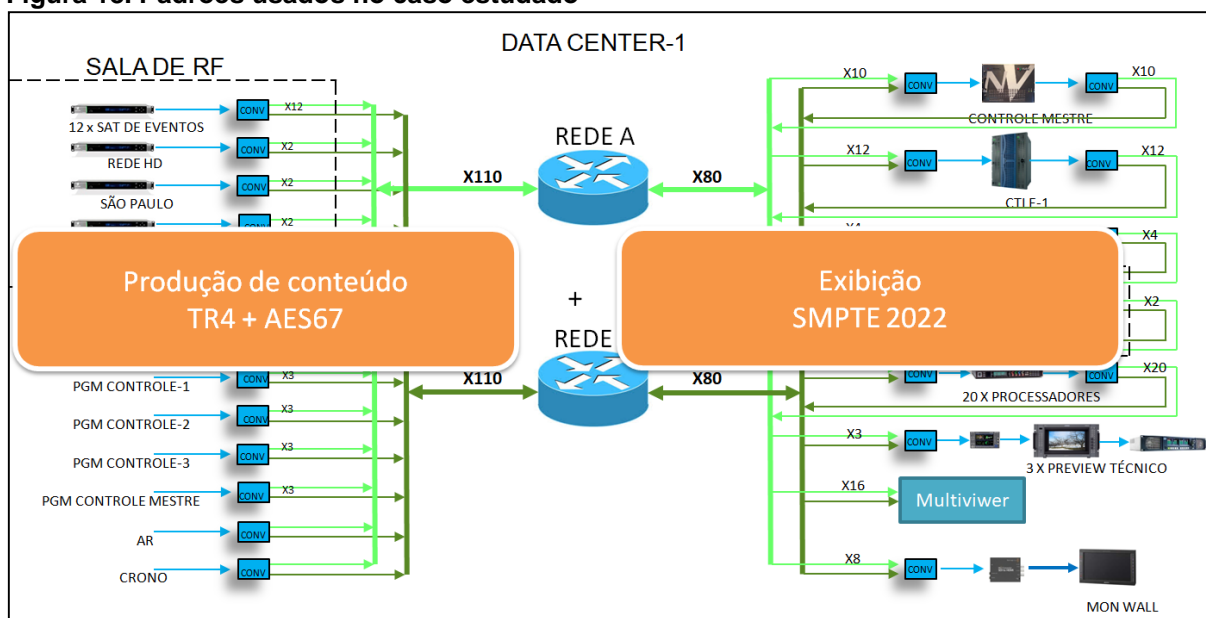
Fonte: Menezes (2017).

Como os equipamentos utilizados seguiam o padrão SMPTE 2022-7, foi possível projetar duas redes redundantes e independentes, de forma que a rede redundante assumira imediatamente em caso de falha na rede principal, com a transição de sinais sendo imperceptível.

O padrão SMPTE 2022-7 foi utilizado principalmente na arquitetura de exibição, pois os sinais para exibição são sempre embebidos. Já na produção de conteúdo é muito vantajosa a possibilidade de se trabalhar com os fluxos de sinais de áudio e vídeo separados. Portanto, optou-se pelo uso de equipamentos que seguissem a recomendação técnica TR-04 (DUCA, 2017)

Conforme demonstra a Figura 18, os sinais de conteúdo (a esquerda) são sinais que podem requerer algum processamento exclusivo de áudio ou de vídeo. Portanto, é vantajoso os fluxos estarem separados para não ser necessário o desembebedamento e reembebedamento após o processamento necessário. Já os sinais de exibição (a direita) são sinais que muito provavelmente não necessitam processamento nenhum, ou seja, são sinais que já estão prontos para exibição, seja para um *multiviewer* ou para ir direto ao transmissor. Neste caso, a vantagem de fluxos separados da TR-04 não se apresenta muito útil.

**Figura 18. Padrões usados no caso estudado**

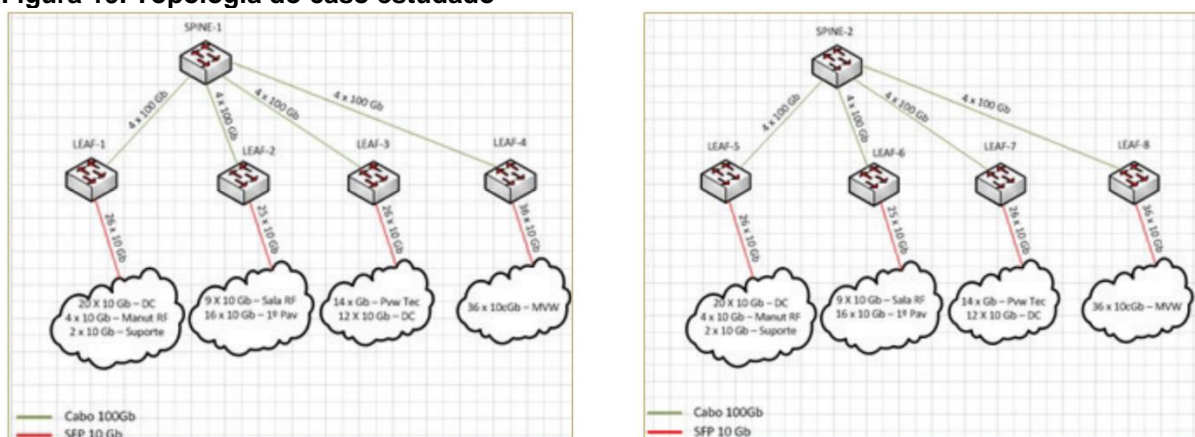


Fonte: Duca (2017).

A topologia de rede utilizada foi a *Spine-Leaf*, devido à grande escalabilidade desta topologia. Neste caso, a topologia consiste de dois switches *Spine Cisco Nexus 9000*, um principal e outro redundante, com diversas portas de 100 Gb/s e de diversos

switches *Leaf*, também Cisco Nexus 900, com até dez portas de 10 Gb/s e uma porta de 100 Gb/s (MENEZES, 2017). As portas de 10 Gb/s se conectam aos gateways ou aos equipamentos que trabalhem nativamente com o fluxo em IP, enquanto que as portas de 100 Gb/s se conectam aos switches *spines*, conforme ilustra a Figura 19. Essas conexões são feitas com fibras monomodo a uma distância de até centenas de metros (MENEZES, 2017).

Figura 19. Topologia do caso estudado



Fonte: Menezes (2017).

Ainda que o projeto esteja se demonstrando bastante satisfatório, alguns desafios têm se mostrado maiores na prática. O maior destes desafios tem sido a preparação da equipe. Um novo conceito exige um novo modelo de trabalho. Pouquíssimas pessoas estão habituadas a trabalhar tanto em um ambiente *broadcast* como em um ambiente IP. Portanto, a dedicação em treinamento das equipes tem se mostrado crucial para o sucesso da mudança de conceito. Além disso, por mais que o recém-publicado padrão SMPTE 2110 tenda a se consolidar como um padrão definitivo, o projeto iniciou antes desta publicação, logo esta indefinição de padrão também foi bastante desafiadora. Outros dois pontos citados como desafiadores foi a dificuldade de *troubleshooting*, ou seja, de identificação e resolução de problemas e a dificuldade em se controlar o PTP (DUCA, 2017).

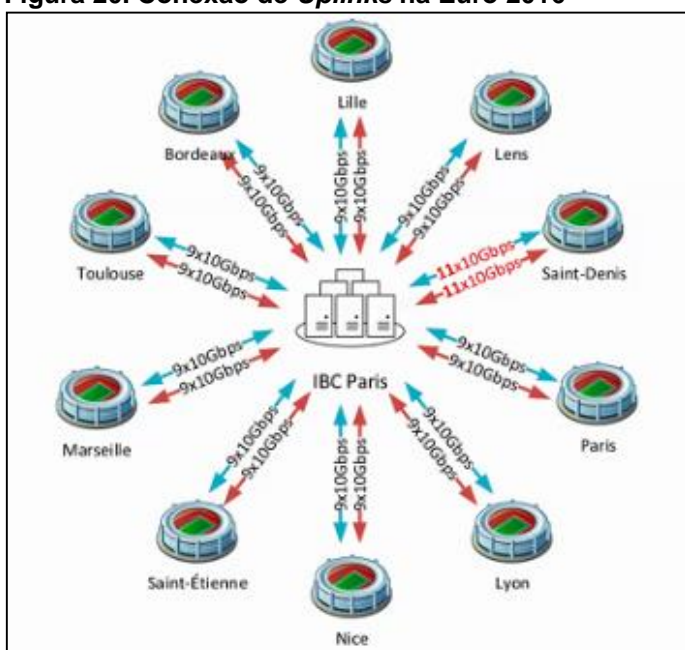
## 6.2 EUROCOPA 2016

Em 2016 ocorreu na França a 15ª edição da EUROCOPA, campeonato europeu de seleções de futebol masculinas. Nesta edição foram disputadas, desde a abertura em 10 de junho até a final em 10 de julho, 51 partidas entre 24 equipes.

Um grande destaque do evento foi o sucesso da cobertura televisiva dele. A audiência atingiu médias impressionantes de 130 milhões de telespectadores por partida e 300 milhões de telespectadores na grande final entre Portugal e França. A Islândia atingiu a impressionante marca de 99,8% de audiência durante a vitória de sua seleção sobre a Inglaterra. (BBC, 2016). No Brasil a audiência na final chegou a 52% das televisões, um crescimento de 30% em relação a final da edição anterior em 2012 (LOPES, 2016). E entre as TVs por assinatura, o canal que passou a final liderou com vantagem de 318% em relação ao segundo colocado (LEISTER FILHO, 2016).

Toda essa cobertura contou com 816 fluxos de sinais dos estádios até as redistribuidoras de sinal e um total de 3174 horas de conteúdo. Todas as partidas foram gravadas em 1080i/50fps usando 48 câmeras em cada partida. Para que a distribuição destes sinais fosse possível foi conectado um *link* de 2TB/s de cada um dos dez estádios até os *switches* que estavam na IBC em Paris, conforme Figura 20 (PENZEL, 2016).

**Figura 20. Conexão de Uplinks na Euro 2016**

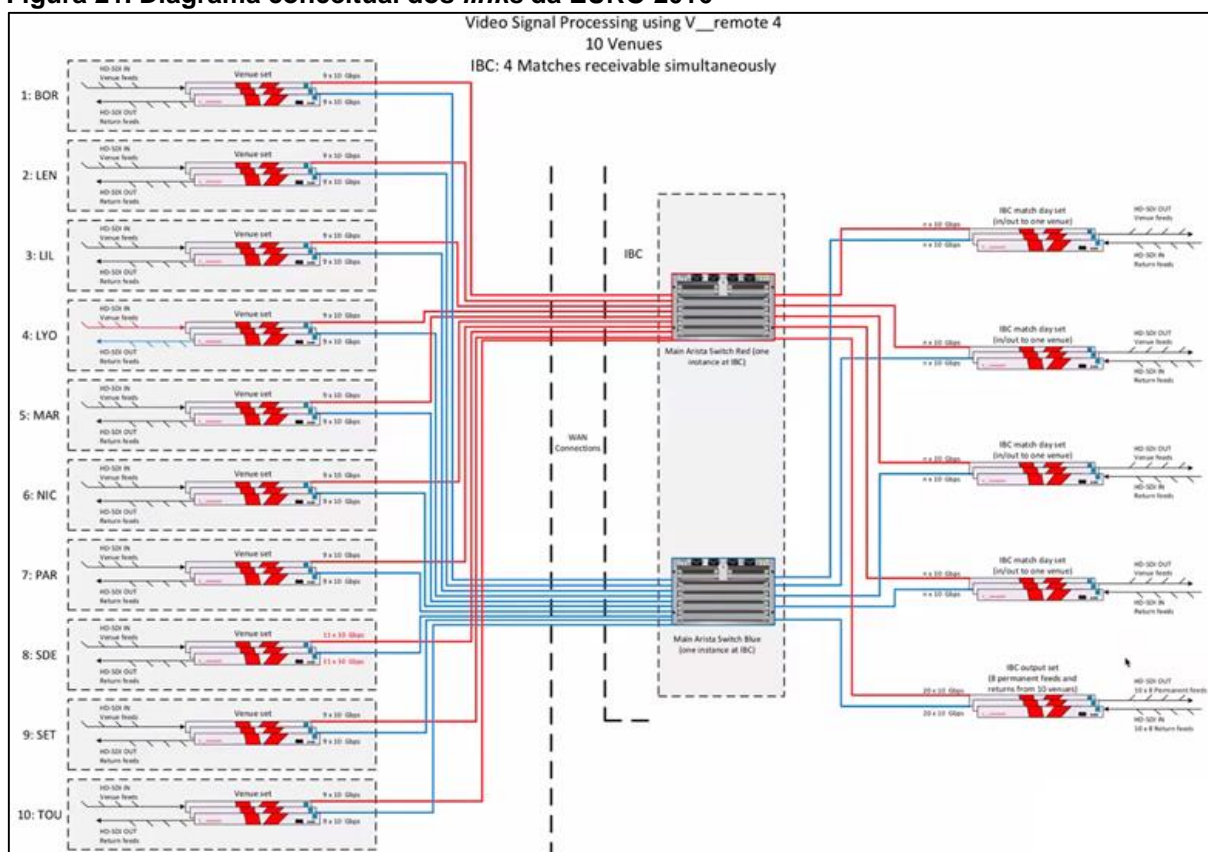


Fonte: Hedkvist (2017).



Para realizar o processamento do vídeo nos estádios e conversão SDI para IP, foram utilizados 12 v\_link4 por estádio. Cada um deles foi conectado ao *switch* central localizado na IBC, como ilustra a Figura 21. Dessa forma, a IBC em Paris dispunha de todos os sinais de cada um dos estádios e podia comutar entre eles e entre os estádios, caso fosse desejado.

**Figura 21. Diagrama conceitual dos links da EURO 2016**



Fonte: Hedkvist (2017).

Pela primeira vez, oito partidas da competição foram produzidas também em 4K e fornecidas para dez países no mundo todo, incluindo o Brasil (EBU, 2016). Esta produção em 4K foi uma oportunidade valiosa para a UEFA testar as novas tecnologias e novos modelos de produção para a UEFA 2020, que ocorrerá em 13 países diferentes.

## 7 CONCLUSÃO

A evolução extremamente rápida da tecnologia em IP e o suporte a larguras de banda enormes fizeram com que o tráfego de sinais de vídeo fosse inevitavelmente incorporado a este protocolo. Conforme a pesquisa bibliográfica sugeriu, existem diversas vantagens neste modelo de comunicação. Inclusive aplicações já estão no mercado, conforme demonstrado nos casos estudados neste documento e em diversos outros casos de diversos portes.

No entanto, essa transição deve ser feita com muito cuidado e o grande esforço das organizações em formar um padrão de comunicação que permita a interoperabilidade de soluções e produtos se provou muito importante e já tem dado resultado, principalmente com a publicação do padrão SMPTE 2110, que deve se tornar a grande base para os novos desenvolvimentos nesta área.

O grande desafio nisso também está na forma como o mercado adotará esta tecnologia e, principalmente, se as pessoas estão aptas a lidar com ela e com as transformações que ela conduzirá.

### 7.1 LIMITAÇÕES

A grande limitação deste documento consiste na abordagem do padrão SMPTE 2110 por meio de documentos que o referenciam e não do padrão em si. Isso se deve ao elevado custo dos documentos deste padrão.

Devido à importância destes documentos para o mercado de *broadcast* e para alcançar os objetivos de interoperabilidade dos produtos e soluções para tráfego de vídeo não comprimido sobre IP, sugere que este tipo de documentação torne-se pública e de livre acesso.

## REFERÊNCIAS

AES. **Our story**. Disponível em: <<http://www.aes.org/about>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

AIMS. **About AIMS**. Disponível em: <<http://aimsalliance.org>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

AL-FARES, Mohammad; LOUKISSAS, Alexander; VAHDAT, Amin. **A scalable, commodity Data Center Network Architecture**. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. University of California, San Diego, 2008.

AMWA. **About the AMWA**. Disponível em: <<https://www.amwa.tv/about.shtml>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

ARISTA NETWORKS. **Broadcast transition from SDI to ethernet**. Arista Networks, Inc. copyright© 2016. Disponível em: <[https://www.arista.com/assets/data/pdf/Whitepapers/Broadcast\\_Transition\\_from\\_SDI\\_to\\_Ethernet.pdf](https://www.arista.com/assets/data/pdf/Whitepapers/Broadcast_Transition_from_SDI_to_Ethernet.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BARELLA, Scott. **Navigating Islands in a hybrid IP and SDI environment**. NAB Broadcast Engineering and Information Technology Conference Proceedings. Salt Lake City-EUA, 2017.

BARELLA, Scott. **Practical transition strategies of SDI facilities utilizing newer IP baseband A/V signals**. SMPTE 2016 Annual Technical Conference & Exhibition, Hollywood-EUA, 2016.

BBC. **Euro 2016: Just 298 tune out during Iceland v England game**. BBC Sport, publicado em: 11 jul. 2016. Disponível em: <<http://www.bbc.com/sport/football/36755192>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BRANDÃO, Cristina; LINS, Flávio; MAIA, Aline. **Itacolomi: uma TV para Minas Gerais**. Porto Alegre: Revista FAMECOS, 2011.

BRASIL. Portaria nº 2992, de 26 de maio de 2017. **MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia**. Brasília, DF, D.O.U. 29/05/2017. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/236135-estabelece-o-cronograma-de-transiçao-da-transmissao-analogica-dos-serviços-de-rádiodifusão-de-som-e-imagens-e-de-retransmissao-de-televisao-para-o-sbtvd-t.html>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CICIORA, Walter et al. **Modern cable television technology**. Editora Morgan Kaufmann, 1999.

CISCO NETWORKING ACADEMY. **Hierarchical Network Design**. Cisco Press. 2014. Disponível em: <<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2202410>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CISCO. **Cisco Data Center Spine-and-Leaf Architecture: design overview white paper**. Cisco copyright© 2016. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/nexus-7000-series-switches/white-paper-c11-737022.html>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CISCO. **Switch Cisco Nexus 9508**. Cisco copyright© 2013. Disponível em: <[https://www.cisco.com/c/pt\\_br/products/switches/nexus-9508-switch/index.html](https://www.cisco.com/c/pt_br/products/switches/nexus-9508-switch/index.html)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CRONK, Michael. **2017: A critical year in the transition to IP**. Asia-Pacific Broadcasting, 2017.

DEKTEC. **SMPTE 2022-7 seamless protection switchover using the DTA-2162 network adapter**. Disponível em: <<https://www.dektec.com/products/PCIe/DTA-2162/downloads/DT-AN-IP-3%20SMPTE%202022-7.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

DOMINGUES, Felipe. **Transição entre SDI e IP na indústria broadcast**. SET SUL. Curitiba, 2017.

DUCA, Carolina. **A nova TV Globo em Recife: tudo em IP**. SET SUL. Curitiba, 2017.

EBU. **UEFA and Eurovision bring every kick of UEFA EURO 2016 to audiences across the globe**. 2016. EBU News, publicado em: 09 jul. 2016. Disponível em: <<http://193.43.93.46/news/2016/07/uefa-and-eurovision-brings-every-kick-of-uefa-euro-2016to-audiences-across-the-globe>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

EBU-UER. **High Definition (HD) image formats for television production**. Genebra, 2010. Disponível em: <<https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3299.pdf>>. Acesso em: 12 JUN. 2018.

EDWARDS, Thomas. **Virtualization and SMPTE 2110**. TheIABMChannel, publicado em: 17 mai. 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=D99u41xyMFE>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

EMBRIONIX. **SFP based IP gateways**. Embrionix copyright© 2016. Disponível em: <<https://www.embrionix.com/product/subfamily/sdi-to-ip>>. Acesso em: 12 jun. 2018.  
ERICSSON. **Standards for distributing video over IP including SMPTE 2022**. Ericsson AB, 2016.

FIBER OPTIC TRANSCEIVERS. **What are the differences between SFP, SFP+, XFP, QSFP/QSFP+, CFP and QSFP28?**. Fiber Transceiver Solution, publicado em: 14 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.fiber-optic-transceiver-module.com/what-are-the-differences-between-sfp-sfp-xfp-qsfpqsfp-cfp-and-qsfp28.html>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

FIELDING, Raymond. **A techonological history of motion pictures and television: an anthology from the pages of the Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers**. Editora University of California, 1967.

FORBES. **Netflix**. Disponível em <<https://www.forbes.com/companies/netflix>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

GELLER, Monica. **Difference between QSFP, QSFP+, QSFP28**. Medium, publicado em: 17 abr. 2017. Disponível em: <<https://medium.com/@julydd/difference-between-qsfp-qsfp-qsfp28-8df90f3b69a0>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

HEDKVIST, Erling. **Lawo webinar December 2017**. Webinar do Grupo SET. 2017

HICKEY, John. **Virtualization in broadcast: virtual machines can reinvent global TV production**. NAB BEITC Proceedings, 2017.

HUDSON, John; SETH-SMITH, Nigel. **3G: the evolution of the Serial Digital Interface (SDI)**. SMPTE Motion Imaging Journal Vol.115. 2006.

HUSSEMAN, Trevor. **A beginner's guide to understanding the Leaf-Spine network topology**. Westmonroe, publicado em: 23 mar. 2015. Disponível em: <<https://blog.westmonroepartners.com/a-beginners-guide-to-understanding-the-leaf-spine-network-topology>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

IABM. **About us**. Disponível em: <<https://www.theiabm.org/about-iabm>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

IEEE. **IEEE standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems**. Publicado por IEE em: 24 jul. 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=4579757>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

IVE, John. **IP contribution and remote production**. IABM. Publicado em: 14 jun. 2015. Disponível em: <<https://www.theiabm.org/news/ip-contribution-and-remote-production>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

LAPPETELÄINEN, Ari. **Equal cost multipath routing in IP networks**. Aalto University, 2011.

LEISTER FILHO, Adalberto. **SporTV atinge 2,9 milhões de pessoas com final de Eurocopa**. Máquina do Esporte, publicado em: 12 jul. 2016. Disponível em: <[http://maquinadoesporte.uol.com.br/artigo/sportv-atinge-29-milhoes-de-pessoas-com-final-de-eurocopa\\_30743.html](http://maquinadoesporte.uol.com.br/artigo/sportv-atinge-29-milhoes-de-pessoas-com-final-de-eurocopa_30743.html)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

LIEW, Shawn. **IP no more and option, start transition plan now**. Asia-Pacific Broadcasting, 2016.

LOPES, Duda. **Na audiência, Eurocopa bate Brasileirão e consagra bom momento europeu**. Máquina do Esporte, publicado em: 11 jul. 2016. Disponível em: <[http://maquinadoesporte.uol.com.br/artigo/na-audiencia-eurocopa-bate-brasileirao-e-consagra-bom-momento-europeu\\_30737.html](http://maquinadoesporte.uol.com.br/artigo/na-audiencia-eurocopa-bate-brasileirao-e-consagra-bom-momento-europeu_30737.html)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MENEZES, Roberto. **Nova sede da Globo em Recife: tudo em IP**. Revista da SET nº 174, 2017.

MILLER, Michel. **Switching to Digital TV: everything you need to know**. Que Publishing Company, 2008.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Introduction to distributed clock synchronization and the IEEE 1588 precision time protocol**. National Instruments copyright©, publicado em: 15 set. 2016. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/2822/en>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

NELSON, William. **Introduction to Spine-Leaf Networking Designs**. Lenovo Press, 2017.

NEVION. **Standards for media transport over IP**. Nevion, publicado em: 07 abr. 2016. Disponível em: <<https://nevion.com/blog/standards>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

PENZEL, Reinhard. **UEFA EURO 2016 France**. Live Production, publicado em: 19 dez. 2016. Disponível em: <<http://www.live-production.tv/case-studies/sports/uefa-euro-2016-france.html>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SILICON LABS. **Timing and synchronization in broadcast video**. Silicon Laboratories copyright© 2009. Disponível em: <<https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/AN377.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SIMPSON, Wes. **SMPTE 2022 and the future of video over IP**. TVTechnology, publicado em: 08 jul. 2013. Disponível em: <<http://www.tvtechnology.com/insight/0083/smpte--and-the-future-of-video-over-ip/220188>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

SNELL ADVANCED MEDIA. **Off-the-shelf IP routing switchers in the hybrid IP/SDI television broadcast environment**. White Paper 2015a. Disponível em: <[https://s-a-m.com/media/1536/sam\\_wp\\_ip-routing.pdf](https://s-a-m.com/media/1536/sam_wp_ip-routing.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SNELL ADVANCED MEDIA. **Starting the transition to IP infrastructures**. White Paper. 2015b. Disponível em: <[https://s-a-m.com/media/1674/sam\\_wp\\_starting-the-transition-to-ip-infrastructures-part\\_2.pdf](https://s-a-m.com/media/1674/sam_wp_starting-the-transition-to-ip-infrastructures-part_2.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

STATISTA. **Apple's revenue worldwide from 2004 to 2017\* (in billion U.S. dollars)**. The Statistics Portal copyright© 2018. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/265125/total-net-sales-of-apple-since-2004>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

VIDEO SERVICES FORUM. **Making video connectivity solutions work**. Video Services Forum, Inc. copyright© 2018. Disponível em: <[http://www.videoservicesforum.org/about\\_vsf.shtml](http://www.videoservicesforum.org/about_vsf.shtml)>. Acesso em: 12 jun. 2108.

VIDEO SERVICES FORUM. **Technical recommendation TR-03: transport of uncompressed elementary stream media over IP.** 2015a.

VIDEO SERVICES FORUM. **Technical recommendation TR-04: utilization of ST-2022-6 media flows.** 2015b.

VILLELA, Flávia. **IBGE: 40% dos brasileiros têm televisão digital aberta.** Agência Brasil, publicado em: 06 abr. 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-04/ibge-embarcada-ate-amanha-10h-0604>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

WHITCOMB, Leigh. **Audio for television: How AES67 and uncompressed 2022/2110/TR03 video fit together.** SMPTE Motion Imaging Journal, vol. 126, 2017.

WORSHIP IMAG. **Genlock: what is it and why is it important?.** Worship IMAG publicado em: 11 jun. 2011. Disponível em: <<https://worshipimag.com/2011/06/11/gen-lock-what-is-it-and-why-is-it-important>>. Acesso em: 12 jun. 2018.



## APÊNDICE A - EXEMPLO DE SDP: TR-04

Protocolo de descrição de sessão (SDP) do TR-04:

```
v=0
o=- 123456 11 IN IP4 192.168.1.1
s=Networked Media including 2022-6 video
i=A test of 2022-6 with AES67 via TR-03 plus TR-04
t=0 0
a=group:LS 20226pri A1 M1
a=group:DUP 20226pri 20226red
a=recvonly
m=video 51000 RTP/AVP 98 [note: primary video stream type ST 2022-6]
c=IN IP4 239.0.0.1/32 a=rtpmap:98 SMPTE2022-6/27000000
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:0
a=mediaclk:direct=2216659908
a=mid:20226pri

m=video 51100 RTP/AVP 98 [note: redundant video stream type ST 2022-6]
c=IN IP4 239.1.0.1/32
a=rtpmap:98 SMPTE2022-6/27000000
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:0
a=mediaclk:direct=2216659908

a=mid:20226red m=audio 51200 RTP/AVP 97 [note: audio stream type AES67]
c=IN IP4 239.0.0.2/32
a=rtpmap:97 L24/48000/6
a=ptime:0.250
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:0
a=mediaclk:direct=963214424
a=fmtp:97 channel-order=SVIP.(L,C,R,Lrs,Rrs,LFE)

a=mid:A1 m=video 51300 RTP/AVP 98 [note: ANC draft-ietf-payload-rtp-ancillary]
c=IN IP4 239.0.0.3/32
a=rtpmap:98 smpte291/90000
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94-FF-FE-07-CB-D0:0
a=mediaclk:direct=2216659908
a=mid:M1
```

## APÊNDICE B - EXEMPLO DE SDP: AES67

Protocolo de descrição de sessão (SDP) do AES67:

v=0

- Protocol version. E.g. 0  
c=IN IP4 239.1.1.2/32

- Connection Data. This is IP address and Time To Live (TTL). E.g. IP address is 239.1.1.2 and TTL is 32.

t= 0 0

- Time the session is active. Start and End time. A zero end time is unbounded.  
m=audio 5004 RTP/AVP 96

- Media Descriptions. E.g. RTP protocol on port 5004  
i=Channels 1-8

- Session information. Textual information about the session  
a=rtpmap:97 L24/48000/6

- RTP dynamic payload type. E.g. 97. Audio sample bit width, sampling rate and audio channels. E.g. 24-bit, 48kHz and 6 audio channels  
a=ptime:0.250

- Packet time in ms. This is the time between packets. E.g. 0.250ms  
a=ts-refclk:ptp=IEEE1588-2008:39-A7-94FF-FE-07-A7-E0: 0

- Network clock used by the stream. Attributes are specified in RFC 7273 (4). E.g. The network clock is IEEE 1588-2008, the PTP Grandmaster is 39-A7-94FF-FE-07-A7-E0 and the PTP domain is 0

a=mediaclock:direct=113224434

Offset between the RTP timestamp and the PTP time. In this example, the RTP timestamp was 113224434 at the media clock epoch