

TV 3.0: Um Estudo sobre Core DTV+ na Nuvem

Henrique Ribeiro

henriquebruno@midiacom.uff.br

Laboratório MídiaCom

Universidade Federal Fluminense

Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

Débora C. Muchaluat-Saade

debora@midiacom.uff.br

Laboratório MídiaCom

Universidade Federal Fluminense

Niterói, Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

The digital broadcasting ecosystem is undergoing a significant transformation driven by the convergence of cloud computing, adaptive streaming protocols, and next-generation transmission standards such as ATSC 3.0 and DTV+. This study presents a review of recent advancements in the transition from traditional broadcasting infrastructures to cloud-based architectures. From a curated selection of recent academic and technical literature, the goal is to analyze how modern broadcast systems are evolving to support IP-based delivery, low-latency media workflows, and hybrid broadcast–broadband services. Particular attention is given to cloud-based media managing, DASH and ROUTE-based streaming solutions, and the virtualization of terrestrial broadcasting components. We also explore the implications of these developments on the scalability, interoperability, and flexibility of future digital TV systems, with a focus on both international standards and proposals relevant to the Brazilian DTV context. This work aims to map current trends, identify open challenges, and provide insights for future research and implementation strategies in the ongoing evolution of television broadcasting.

KEYWORDS

TV 3.0, DTV+, cloud broadcasting, DASH, ROUTE, CORE em nuvem, SRT, ATSC 3.0, NextGen TV

1 INTRODUÇÃO

A televisão sempre desempenhou um papel fundamental na comunicação e no consumo de conteúdo audiovisual no Brasil desde seu surgimento nos anos 1950. Inicialmente analógica e em preto e branco, a "TV 1.0" rapidamente superou o rádio e os jornais, tornando-se um dos principais meios de comunicação em massa. Em 1972, a tecnologia Phase Alternating Line (PAL)-M, desenvolvida no Brasil e retrocompatível, trouxe a cor para os lares, marcando a era da "TV 1.5". Uma década depois, a TV 1.5 foi aprimorada com recursos como legendas eletrônicas e áudio estéreo, expandindo ainda mais sua qualidade.

A virada para a era digital da TV no Brasil começou logo no início do século XXI. Em 2004, o governo brasileiro incentivou pesquisas que culminaram no desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T). Em 2007, após extensos estudos da comunidade científica brasileira, o SBTVD-T foi oficialmente adotado, baseando-se na camada física do sistema japonês

Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial - Version B (ISDB-Tb), e passou a ser conhecido como "TV 2.0". Com o vídeo em HD, o áudio 5.1, a interatividade e a mobilidade, a experiência de assistir televisão foi completamente transformada. O padrão brasileiro de TV Digital foi considerado um enorme sucesso e exportado para diferentes países da América Latina e África.

Para manter sua relevância e competitividade frente à TV por assinatura e ao *streaming*, em 2018, o Fórum do SBTVD-T iniciou um processo de atualização que resultou na "TV 2.5". Esta fase intermediária, projetada para ser retrocompatível com a infraestrutura existente da TV 2.0 [12], introduziu tecnologias avançadas como *High Dynamic Range* (HDR), áudio imersivo e permitiu a integração Broadcast-Broadband. Esta integração é a grande habilitadora de novos tipos de interações com o usuário na TV conectada e da publicidade direcionada.

Nesta década, a televisão aberta continua a ser um pilar essencial no Brasil, alcançando milhões de telespectadores diariamente e superando a participação de mercado combinada da TV paga e dos serviços de streaming. Para sustentar essa relevância e abraçar as oportunidades da economia digital, a próxima fase, a TV 3.0 [11], também conhecida como DTV+, representa um salto geracional importante na tecnologia. O grande alvo da TV 3.0 é aprimorar a experiência do usuário, a eficiência espectral e a infraestrutura de distribuição de conteúdo, integrando cada vez mais as fronteiras de entrega de conteúdo *over-the-air* (OTA) e *over-the-top* (OTT).

Este trabalho examina algumas das principais tendências e desafios para a implementação da DTV+, dando foco especial ao processo de *cloudificação* da cadeia de compressão, codificação e empacotamento, conhecida como CORE da DTV+.

O artigo está estruturado da seguinte maneira. A Seção 2 compara tecnicamente os padrões de TV Digital em pauta no Brasil, o padrão vigente (TV 2.5) e a nova geração do sistema (TV 3.0). A Seção 3 debate as soluções em nuvem para o novo modelo de cadeia de transmissão, chamado de core da DTV+, através de uma pesquisa da literatura técnica existente. A Seção 4 analisa os principais desafios em adotar esta nova abordagem. A Seção 5 traz as considerações finais para sumarizar a discussão.

2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE TV DIGITAL

Nas subseções a seguir, são detalhados os padrões de televisão atualmente em evidência durante este momento de transição geracional. O objetivo é destacar as principais características e valências para diferenciar os *pipelines* de funcionamento e *stack* tecnológica típica.

2.1 TV 2.5

Tecnicamente, a arquitetura da TV 2.5 se baseia nas camadas existentes do sistema brasileiro de televisão digital terrestre [5], o ISDB-Tb,

In: VIII Workshop Futuro da TV Digital Interativa (WTVDI 2025). Anais Estendidos do XXXI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WTVDI'2025). Rio de Janeiro/RJ, Brazil. Porto Alegre: Brazilian Computer Society, 2025.

© 2025 SBC – Brazilian Computing Society.

ISSN 2596-1683

uma adaptação do padrão japonês ISDB-T. A transmissão utiliza a modulação BST-OFDM (*Band Segmented Transmission – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) em canais de 6 MHz, tipicamente nas faixas de UHF (470 MHz a 689 MHz). O sistema possui a camada base de vídeo em H.264/AVC com resolução de 1080i (1920x1080 pixels a 29.97 quadros por segundo) [4].

A TV 2.5 no Brasil representa uma atualização incremental em relação à TV 2.0, porém estratégica. Essa evolução, articulada e padronizada pelo Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (Fórum SBTVD), visa aprimorar a experiência do telespectador mantendo a retrocompatibilidade com o parque de transmissores e receptores ISDB-Tb já existentes. A atualização aprimora a interatividade com o Ginga perfil D, que permite uma integração mais profunda entre o conteúdo transmitido e a Internet. Este perfil otimiza a execução de aplicações interativas baseadas em HTML5, CSS e JavaScript, possibilitando serviços personalizados e sob demanda diretamente na televisão. Com isso, o telespectador pode acessar conteúdos complementares, informações adicionais e até mesmo realizar transações, transformando a TV em uma plataforma multimídia mais rica e conectada. Também são normatizados o áudio imersivo e personalizável, permitindo que o usuário ajuste elementos da trilha sonora (como diálogos ou narração esportiva) e o HDR no formato Technicolor SL-HDR1 (Single Layer HDR), que permite a transmissão de vídeo MPEG-AVC/H.264 (H.264/AVC) com metadados HDR, garantindo que TVs compatíveis possam renderizar imagens com maior contraste, brilho e uma gama de cores expandida, enquanto TVs mais antigas ainda conseguem exibir o conteúdo em SDR (*Standard Dynamic Range*).

A cadeia de transmissão pode ser dividida em quatro partes diferentes: a codificação de fonte, multiplexação, codificação de canal e modulação, como pode ser visto na Figura 1. A codificação de fonte é onde vídeo, áudio e dados são comprimidos digitalmente utilizando padrões como H.264/AVC para vídeo, e AAC-LC (*Advanced Audio Coding - Low Complexity*) ou HE-AAC (*High-Efficiency AAC*) para áudio, enquanto dados auxiliares como legendas e aplicações Ginga são preparados por servidores implementadores de funções (*playout*). Em seguida, na multiplexação [6], todos esses fluxos de dados são combinados por um multiplexador MPEG-2 *Transport Stream* em um único fluxo de transporte (TS), com informações de serviço dispostas em tabelas que permitem ao receptor identificar os programas, viabilizando a transmissão simultânea de múltiplos serviços em um único canal. A terceira etapa, a codificação de canal, é crucial para a robustez do sinal, onde redundância e correção de erros (FEC, Reed-Solomon) são aplicadas, e o embaralhamento (*time interleaving*) rearranja os bits para mitigar o impacto de ruídos e desvanecimentos, tornando a recepção mais confiável. Finalmente, na modulação, o fluxo de bits codificado (BTS, o Broadcast TS) é modulado em radiofrequência usando a técnica avançada BST-OFDM, que divide o sinal em múltiplas subportadoras e permite a transmissão hierárquica, sendo então amplificado por transmissores e antenas.

2.2 TV 3.0

Enquanto a TV 2.5 pode ser classificada como um upgrade retrocompatível, a TV 3.0 é uma redefinição completa do sistema [10]. As propostas do Fórum SBTVD para a TV 3.0, a DTV+, buscam

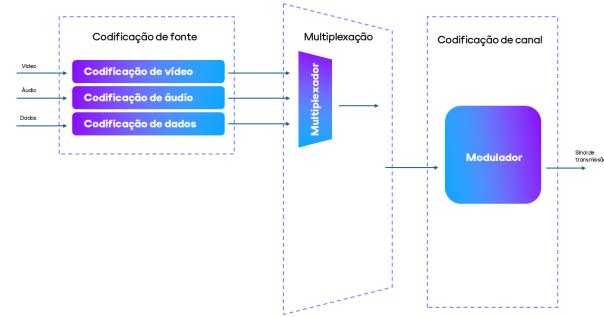


Figura 1: Representação conceitual simplificada de uma cadeia de transmissão da TV 2.5. Adaptado de [4].

uma experiência mais imersiva e personalizada através de uma arquitetura baseada em IP. Após inúmeros testes conduzidos pelo Fórum SBTVD, foi recomendada a adoção do ATSC 3.0 com uso do MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*) para a transmissão em radiodifusão. O MIMO se baseia no uso de antenas com polarizações cruzadas, geralmente horizontal e vertical, o que pode praticamente dobrar a capacidade de *bit rate* do canal [7], facilitando recepção interna fixa e possibilitando transmissões com maior taxa de dados. As configurações de modulação e codificação (MOD-COD) são escolhidas para uma transmissão robusta, fazendo uso de constelações não-uniformes (NUC). A adoção de ROUTE/DASH (*Real-Time Object Delivery over Unidirectional Transport/Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*) [27] [15] como protocolo principal da camada de transporte permite compatibilidade total e nativa com IPv4 e IPv6 e facilidade de distribuição para outras plataformas.

O VVC (*Versatile Video Coding*) foi adotado para a camada base de vídeo, com suporte para resoluções Ultra HD 4K e altas taxas de quadros (60 frames por segundo, por exemplo). O MPEG-H Audio foi escolhido para a camada de codificação de áudio, permitindo áudio imersivo, personalização pelo usuário e acessibilidade. A interface de usuário (GUI) da DTV+ será guiada por aplicativos, com a instalação de um aplicativo para cada emissora, permitindo uma experiência mais familiar e personalizável para o usuário, similar à de smartphones. A Figura 2 ilustra a arquitetura da TV 3.0.

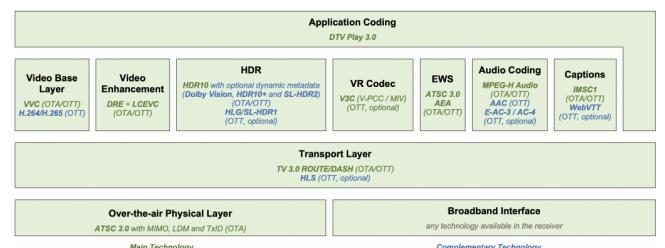


Figura 2: Stack tecnológica proposta para a arquitetura da TV 3.0. Adaptado de [11].

Em casos de uso mais avançados, a DTV+ também permitirá a publicidade segmentada geograficamente ou baseada no perfil do

usuário logado (*Dynamic Ad Insertion*, DAI) de forma nativa. Haverá suporte para medição de audiência, dispositivos complementares para conteúdo adicional e multi-view [22]. Além disso, busca-se aprimorar a acessibilidade com transmissão de libras como um vídeo adicional opcional e interações multimodais (voz, gestos). A tecnologia mulsemídia (múltiplos efeitos sensoriais) [16] também é prevista para criar experiências imersivas, como cinema 4D na sala do usuário.

A implementação de tantas novidades desde a codificação de fonte até a camada de transporte [19] fica a cargo do que é conhecido como Centro de Operações da Rede, ou, simplesmente, Core. O Core na DTV+ pode ser percebido como uma correspondência às cadeias de transmissão da TV 2.5, onde conheciam-se os dispositivos codificadores (*encoders*), multiplexador e servidores implementadores de funções. Agora, fala-se em um *pool* de *encoders* elástico e dimensionado de acordo com a complexidade da operação da emissora, um empacotador encarregado de adequar este fluxo IP para a camada de transporte DASH/ROUTE proposta na norma DTV+ além de inserir a interatividade e o serviço de *datacasting* na composição. Também é no Core que ficam os *Origin Servers* ou *Gateways Broadband* que disponibilizam o sinal para a CDN e o *Gateway Broadcast*, que, em uma cadeia típica, recebe streams ROUTE e os encapsula em streams STLTP (*Studio-to-Transmitter Link Transport Protocol*) para envio aos transmissores via PLPs (*Physical Layer Pipes*). Um PLP é um canal lógico que permite a transmissão de um ou mais serviços (como vídeo, áudio e dados) dentro de um único canal de radiofrequência (RF). A principal característica e vantagem dos PLPs é a flexibilidade. Cada PLP pode ser configurado com seus próprios parâmetros independentes de MOD-COD, possibilitando que as emissoras ofereçam serviços diferenciados com diferentes níveis de robustez e qualidade dentro do mesmo canal de transmissão.

O Core é o elo entre o Centro Exibidor e a Transmissão, e, em geral, é a ele que o Orquestrador de todo o sistema DTV+ fica atrelado, como sugere a Figura 3. De forma geral, o Centro Exibidor e o Core podem estar na nuvem ou *on premises*. A infraestrutura de nuvem provê uma arquitetura intrinsecamente escalável e flexível, habilitando emissoras e operadores de rede a aumentar ou diminuir seus recursos computacionais e de armazenamento conforme as necessidades da demanda diária, idealmente reduzindo gastos significativos em infraestrutura física própria (*bare-metal*, licenças e contratos de suporte). Além do mais, o poder de processamento comum ao ambiente de nuvem otimiza a implementação de algoritmos sofisticados de compressão e codificação, assegurando a entrega eficiente de conteúdo que demanda taxas mais altas e a consequente minimização da utilização do espectro de radiofrequência, um recurso finito e bem limitado.

Em contraponto, a ida para a nuvem impõe alguns desafios técnicos com destaque para latência, qualidade de serviço (QoS) e custos operacionais que podem variar bastante. A latência surge como grande agravante potencializado pela distância física até datacenters e pela dependência de redes públicas, sujeitas a variações de banda, jitter e perdas, além de problemas físicos como o rompimento de cabos. No aspecto da QoS, a infraestrutura compartilhada da nuvem está sujeita a flutuações imprevisíveis de desempenho, o que compromete a previsibilidade e confiabilidade de serviços que precisam estar operando 24/7 como os de uma emissora de TV.

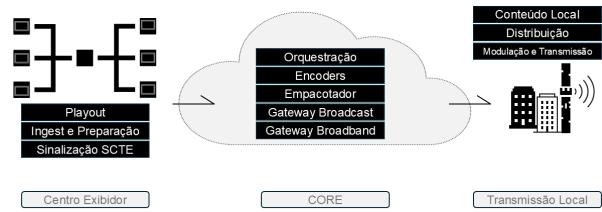


Figura 3: Conceitual de referência para o fluxo de mídia na DTV+ e as funções de CORE na nuvem.

3 SOLUÇÕES EM NUVEM PARA O CORE DA TVD

Considerando os novos padrões de consumo de mídia e a concorrência do streaming, a necessidade de modernização do modelo de transmissão tradicional cresce. A integração de vantagens do uso da nuvem com os fluxos de trabalho de transmissão linear promete uma melhoria na utilização de recursos e redução de custos de investimento. Alguns artigos presentes na literatura já discutem propostas de arquiteturas de broadcast em nuvem.

Em Walker et al. [26], discutem-se as primeiras provocações de interoperabilidade: o desafio técnico de convergir os sistemas de radiodifusão tradicionais, baseados em MPEG-2 TS, com o ecossistema de streaming da Internet. Os autores destacam que, enquanto o HTTP sobre TCP é ideal para a entrega pela Internet (unicast), é inadequado para broadcast, e o MPEG-2 TS é pouco flexível para redes IP. Nesta linha de solução, é proposta a *stack* MPEG DASH/ROUTE para a entrega do broadcast. Tecnicamente, ROUTE é um protocolo de entrega de múltiplos objetos sobre UDP otimizado para streaming em tempo real, suportando *Application-Layer Forward Error Correction* (AL-FEC) para robustez. A principal contribuição do artigo é a especificação detalhada desta arquitetura de receptor unificado onde um *proxy/cache* HTTP local permite que um cliente DASH padrão (baseado em HTML5) requisite conteúdo de forma agnóstica, com o *proxy* buscando os dados de forma transparente tanto do receptor ROUTE (via broadcast) quanto da Internet.

Reznik et al. [23] analisam os dois ecossistemas e compararam os fluxos de trabalho com o objetivo de entender o quão suave seria uma transição do broadcast para um ambiente de nuvem. Algumas incompatibilidades são destacadas ao longo dos pipelines, desde os protocolos de *ingest*, passando pelo processamento das mídias e pela garantia dos sincronismos ao longo do processo. O "*ingest*", no contexto de mídia e broadcast, se refere ao processo de receber conteúdo de alguma fonte de produção (contribuição ao vivo ou acervo, por exemplo) e inserir esses sinais na cadeia de exibição e distribuição. No broadcast *on premises*, esses processos geralmente são à base de UDP (como SRT [25] e RTP), enquanto aplicações de nuvem são tradicionalmente voltadas ao TCP. Os formatos de vídeo utilizados no padrão atual de transmissão broadcast são entrelaçados (*interlaced*), enquanto o universo OTT costuma trabalhar com

formato progressivo. O uso de CBR e multiplexação estatística no broadcast é comum, enquanto, no OTT, o VBR é o que faz mais sentido. Sincronização, tolerância a falhas e latência são alguns outros desafios enxergados nas diferenças entre as duas abordagens. O broadcast opera com precisão de quadro via SDI (*Serial Digital Interface*), enquanto a nuvem opera com atrasos e acesso aleatório a diferentes *chunks*, um sinônimo informal dos segmentos DASH [15], para montagem do vídeo, por exemplo. Para vencer essas diferenças, o artigo propõe que a abordagem em nuvem também adote o padrão baseado em UDP para *ingest*, implemente em nuvem uma cadeia de processamento de sinal sofisticada para, apesar de também inserir latência, converter corretamente os formatos de broadcast (incluindo desentrelaçamento avançado) e, com ainda maior importância, desenvolva um sistema de *playout* inteiramente na nuvem. O texto mostra três exemplos de arquiteturas híbridas: um primeiro, com a nuvem apenas para o ambiente OTT; uma segunda arquitetura intermediária usando nuvem para *ingest*, *playout* e OTT, e, finalmente, como visto na Figura 4, uma arquitetura quase totalmente em ambiente de nuvem, que também lida com a transcodificação e multiplexação para o broadcast, deixando apenas a modulação e transmissão OTA *on premises*.

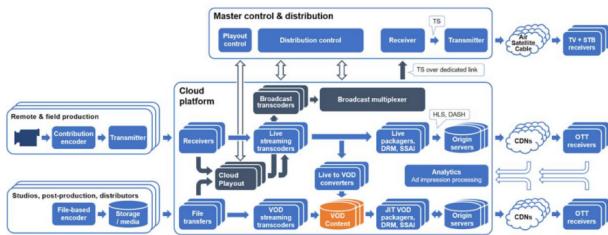


Figura 4: Arquitetura proposta com OTT e broadcast em plataforma de nuvem. Adaptado de Reznik et al. (2021) [23].

Kauffmann [18] destaca a dificuldade em transportar o sinal final para o transmissor, o *Studio-to-Transmitter Link Transport Protocol* (STLTP), a partir da nuvem através da Internet pública, que é uma rede sabidamente instável e sujeita a perdas de pacotes e variações de latência. Além disso, a arquitetura ATSC 3.0 [2] [3] exige o uso de multicast para a comunicação entre seus componentes, um recurso que não é nativamente suportado em ambientes de nuvem como a Amazon Web Services (AWS), exigindo soluções de contorno.

Para superar esses desafios, a pesquisa de Kauffmann [18] propõe e valida uma arquitetura de referência funcional e completa na AWS, virtualizando todo o fluxo de trabalho do ATSC 3.0, desde a geração do canal (Playout) até o empacotamento do sinal, como descrito na Figura 5. A solução central para o transporte do fluxo STLTP pela Internet pública é o uso de protocolos de *Automatic Repeat Request* (ARQ), com foco no *Secure Reliable Transport* (SRT) [25]. Foi utilizada uma ferramenta de software baseada em node.js "ATSC 3.0 STL to SRT encapsulator", hospedada em ambiente AWS, para encapsular o fluxo multicast STLTP em um túnel unicast SRT, monitorando a integridade da transmissão. Para viabilizar a comunicação multicast necessária dentro da nuvem, a arquitetura utiliza o AWS *Transit Gateway*. A pesquisa detalha a configuração ótima do

enlace SRT, concludo que o uso combinado de *Forward Error Correction* (FEC) com o ARQ em modo paralelo oferece o desempenho mais robusto, alcançando uma confiabilidade de 99,999%.

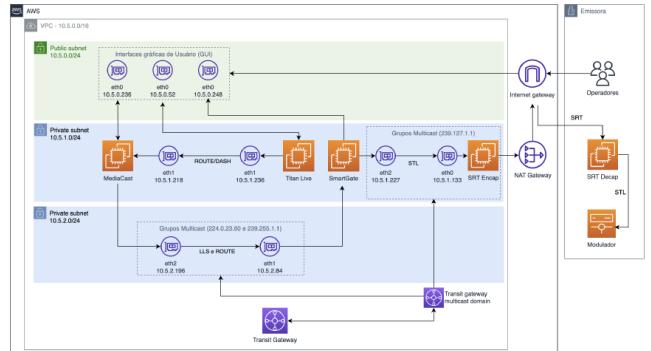


Figura 5: Arquitetura na nuvem AWS. Adaptado de Kauffmann (2024) [18].

A principal contribuição de Kauffmann [18] é a demonstração prática da viabilidade de uma arquitetura de broadcast totalmente virtualizada, centralizando a geração de canais na nuvem e distribuindo os mesmos de forma confiável para transmissores locais via Internet pública. Os resultados e a metodologia validaram a hipótese e forneceram subsídios técnicos para os radiodifusores interessados em adotar abordagem similar.

O trabalho de Hammershoj et al. [13] também examina a transição do broadcast tradicional para um modelo centrado em IP, onde a nuvem e as arquiteturas de microserviços desempenham papéis importantes na produção, processamento e distribuição de conteúdo de TV. Essa mudança é impulsionada pela integração de padrões de broadcasting com protocolos modernos da Internet, como QUIC [17], HTTP/3, IP multicast e protocolos de streaming adaptativo. Embora não detalhe a plataforma específica (AWS, GCP, etc.), a nuvem não é tratada apenas como um local de armazenamento, mas como um ambiente ativo e central. É nela que ocorre o *ingest* de conteúdo, seguido pelo processamento, transcodificação e empacotamento do material em formatos como LL-HLS e MPEG-DASH. Esses processos são organizados em uma arquitetura baseada em microserviços dinâmicos, o que permite uma operação flexível. Essa modularidade é essencial para adaptar-se a diferentes padrões de distribuição broadcast (p. ex. ATSC 3.0), otimizando recursos computacionais conforme a demanda. O artigo também discute os desafios técnicos associados à adoção dessas tecnologias emergentes. Entre eles, destacam-se o bloqueio de tráfego UDP em muitas redes, a falta de suporte nos sistemas operacionais para protocolos como QUIC e o suporte limitado a multicast em dispositivos de consumo. Para mitigar esses obstáculos, a plataforma de testes propõe o uso de gateways domésticos capazes de converter fluxos baseados em QUIC para TCP legado, assegurando compatibilidade com equipamentos existentes.

Os desafios para alcançar baixa latência em sistemas de streaming de mídia ao vivo são um problema central na replicação de serviços de broadcast em nuvem. Segundo Bentaleb et al. [8], a latência de ponta a ponta pode ser decomposta em três fontes

principais: preparação do conteúdo (codificação, empacotamento, ingest), entrega (distribuição via CDN, entrega de última milha) e consumo (buffering do player, decodificação). O artigo fornece uma análise abrangente e detalhada de todo o fluxo de trabalho de streaming ao vivo de baixa latência, servindo como uma referência completa sobre o tema. O artigo se destaca por dissecar em detalhes cada componente da cadeia de entrega e seu respectivo impacto na latência. Ele não apenas descreve os protocolos e suas extensões de baixa latência (LL-DASH e LL-HLS), mas também explora as otimizações necessárias no cliente, como algoritmos avançados de medição de largura de banda (ex: ACTE, LoL), esquemas de adaptação de taxa projetados para baixa latência (L2A, *Stallion*), e controle de velocidade de reprodução para manter a latência alvo.

Olhando para o futuro, o artigo [8] identifica diversas tendências que moldarão a próxima geração de streaming de mídia. Uma direção clara é ir além do HTTP tradicional, com a exploração de protocolos como WebRTC para aplicações interativas de latência ultrabaixa e, mais notavelmente, o desenvolvimento do *Media over QUIC* (MOQ) no IETF [14]. O MOQ visa criar uma solução escalável para ingest e distribuição de mídia com baixa latência, podendo se tornar um divisor de águas para o setor. Outras tendências futuras incluem o uso intensivo de *analytics* e soluções baseadas em IA para otimizar dinamicamente a alocação de recursos e a codificação com base no conteúdo, a exploração de novas arquiteturas de entrega com edge computing e o desenvolvimento de *frameworks* de QoE específicos para baixa latência em aplicações imersivas como VR/AR.

No trabalho de Kim et al. [21], tem-se um olhar voltado para o desafio da indústria de mídia em migrar da produção tradicional baseada em hardware e SDI para fluxos de trabalho mais flexíveis e econômicos baseados em IP e nuvem. Um obstáculo central é a falta de interoperabilidade entre os diversos formatos de dados de mídia (SDI, SMPTE 2110) e a necessidade de controle remoto confiável e de baixa latência dos equipamentos de produção. Como solução, os autores propõem uma arquitetura de sistema de produção de mídia em nuvem de ponta a ponta, cujo componente chave é um gateway de mídia IP. Este gateway converte os diferentes formatos de entrada para um formato IP comum, comprimindo os dados e transmitindo-os de forma confiável e com baixa latência usando o protocolo *Secure Reliable Transport* (SRT). O sistema em nuvem inclui um *switcher* de vídeo definido por software, um módulo de controle e gerenciamento remoto e um módulo de produção automatizada com algoritmos de *deep learning*. O trabalho [20], de autoria do mesmo grupo de pesquisa no ETRI (*Electronics and Telecommunications Research Institute*) na Coréia do Sul, apresenta uma solução técnica para esse desafio. Ele propõe um esquema baseado no protocolo *MQ Telemetry Transport* (MQTT) para controle e gerenciamento. A nuvem atua como um broker MQTT, e o gateway de mídia IP atua como um cliente MQTT, registrando dispositivos e permitindo o controle remoto através de um sistema de tópicos. Nesse artigo, o monitoramento remoto é otimizado: para manter a precisão no chaveamento, os vídeos são processados sem compressão na nuvem, mas para o retorno ao operador, as múltiplas fontes são transcodificadas em uma única tela multi-view de menor qualidade, minimizando a latência de monitoramento. É traçada uma meta quantitativa para a implementação futura: atingir uma latência de comutação (*switching*) de no máximo 5 frames.

4 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A migração de sistemas de transmissão tradicionais para arquiteturas baseadas em IP e nuvem impõe uma série de desafios técnicos e operacionais. Talvez o principal obstáculo seja mesmo a latência e manutenção da qualidade de serviço. Além disso, a diversidade e variabilidade das fontes de conteúdo, aliada à limitação de protocolos para ingest, exige soluções mais robustas que preservam os fluxos de transporte. Protocolos modernos como SRT ou QUIC são essenciais para tentar mitigar esses problemas, mas introduzem novos desafios: por exemplo, o tráfego via QUIC pode consumir mais CPU em comparação com HTTP/2 sobre TCP [1], aumentando significativamente os custos.

Em ambientes de nuvem, a natureza distribuída e heterogênea dos recursos introduz desafios adicionais, como tolerância a falhas com mínima descontinuidade e orquestração eficiente de tarefas em infraestrutura descentralizada. A granularidade dos *chunks* OTT (com segmentos que tipicamente variam entre 2 a 10 segundos) [24] é mais alta do que nos fluxos tradicionais de broadcast, o que afeta a agilidade na navegação e recuperação de conteúdo. Outro fator limitante é o tratamento de sinais complexos de transmissão que, ao passarem por múltiplas etapas de compressão, amostragem variável e conversão, acumulam artefatos e comprometem a qualidade final do vídeo.

Por outro lado, observa-se uma série de tendências que apontam para um futuro convergente. Protocolos mais eficientes de ingest e o uso de conexões dedicadas com nuvens públicas favorecem a confiabilidade e a eficiência da entrega. A nuvem passa a concentrar funções-chave de gerenciamento e beneficiamento de mídia, processamento, empacotamento e entrega, com benefícios de elasticidade, escalabilidade e economia de recursos. O avanço de técnicas de pré-processamento, empacotamento dinâmico e filtragem de sinais abre caminho para fluxos de trabalho inteligentes e automatizados, adaptados às exigências de um ambiente de mídia cada vez mais distribuído, personalizado e orientado a software.

Como visto em [23], sistemas *cloud-native*, tolerantes a falhas e com controle de qualidade comparável aos equipamentos profissionais tradicionais (como Teranex [9]), serão essenciais para permitir a transição completa do broadcast para a nuvem. No artigo, é apresentada uma tabela resumindo as três arquiteturas propostas, com diferentes níveis de "cloudificação", e um comparativo de custos requeridos com equipamentos *on premises*. No caso com mais componentes em nuvem, a redução de custos pode chegar a 80% ou 90%.

Embora a nuvem elimine investimentos iniciais em hardware, o modelo de pagamento por uso pode levar a despesas operacionais elevadas, especialmente com tráfego de saída (*egress*), transcodificação e armazenamento. Além disso, a replicação de funções fundamentais de broadcast na nuvem exige arquiteturas complexas, o que eleva tanto o custo de engenharia para desenvolvimento quanto a necessidade de manutenção especializada. Essa complexidade impõe uma curva de aprendizado à equipe técnica da emissora e exige um planejamento detalhado para garantir que os ganhos com a nuvem não sejam anulados por perdas em desempenho e confiabilidade do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição para a DTV+ (TV 3.0) impulsiona uma inevitável mudança da infraestrutura de transmissão, migrando do modelo tradicional para um ecossistema baseado em IP e centrado na nuvem. Esta evolução, que virtualiza componentes essenciais do Core (como codificação e empacotamento) e possivelmente outros elementos da cadeia de produção (como Playout e outros elementos da produção de conteúdo), promete ganhos significativos em escalabilidade, flexibilidade e eficiência de custos. Contudo, a jornada para a nuvem apresenta desafios críticos, como a garantia de baixa latência e a confiabilidade na entrega do sinal por redes instáveis, exigindo soluções a exemplo do SRT para o transporte eficiente. A superação desses obstáculos deverá se dar através da adoção de novos protocolos e desenvolvimento de ambientes/ferramentas para claudificação de funções tradicionais do broadcast, moldando o futuro da televisão digital no Brasil.

ACKNOWLEDGMENTS

H.R. agradece aos colegas da TV Globo pelo esclarecimento em diversos temas e parceria na vanguarda da tecnologia brasileira. D.C.M.S. agradece a CAPES, CNPq, FAPERJ, FINEP e RNP.

REFERÊNCIAS

- [1] Muhammad Aamir, Maximilian Bachl, Patrick Sattler, and Joerg Ott. 2023. QUIC is not Quick Enough over Fast Internet. *arXiv preprint arXiv:2310.09423* (2023). <https://arxiv.org/abs/2310.09423> Acessado em: 23 jul. 2025.
- [2] Advanced Television Systems Committee 2024. *A/322:2024-09 – Physical Layer Protocol*. Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C.
- [3] Advanced Television Systems Committee 2024. *A/330:2024-04 – Link-Layer Protocol*. Advanced Television Systems Committee, Washington, D.C.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2020. *NBR 15601: Televisão digital terrestre – Sistema de Transmissão (Versão Corrigida)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2020. *NBR 15602-1: Televisão digital terrestre – Codificação de vídeo, áudio e multiplexação – Parte 1: Codificação de vídeo*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2023. *NBR 15603-1: Televisão digital terrestre – Multiplexação e Serviços de Informação (SI)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- [7] Bernardo Azevedo, Carlos Cosme, Henrique Ribeiro, Jonas Ribeiro, José Raymundo, Richard Olandim, and Uirá Barros. 2025. The TV 3.0 Revolution in Brazil - A Lighthouse for the Future of Broadcasting. In *IBC2025*. IBC Technical Papers, Rio de Janeiro. Aceito, ainda não publicado.
- [8] Abdelhak Bentaleb, May Lim, Mehmet N. Akcay, Ali C. Begen, Sarra Hammoudi, and Roger Zimmermann. 2025. Toward One-Second Latency: Evolution of Live Media Streaming. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* (2025). <https://doi.org/10.1109/COMST.2025.3555514>
- [9] Blackmagic Design. 2025. Teranex - Blackmagic Design. <https://www.blackmagicdesign.com/products/teranex> Acessado em: 21 jul. 2025.
- [10] Allan Seiti Sassaqui Chaubet, Rodrigo Admir Vaz, George Henrique Maranhão Garcia de Oliveira, Ricardo Seriacopi Rabaça, Isabela Coelho Dourado, Gustavo de Melo Valeira, and Cristiano Akamine. 2025. TV 3.0: An Overview. *IEEE Transactions on Broadcasting* 71, 1 (2025). <https://doi.org/10.1109/TBC.2024.3511928>
- [11] FÓRUM SBTVD. 2023. TV 3.0 Project. https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/. Acesso em: 17 jul. 2025.
- [12] FÓRUM SBTVD. 2024. Technical Standards of Digital TV – Brazil. <https://forumsbtvd.org.br/legislacao-e-normas-tecnicas/normas-tecnicas-digital-tv-digital/english/>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- [13] Allan Hammershøj, Aleksander Nowak, Jonas K. B. Hansen, and Čedomir Stefanović. 2020. The Next-Generation Television Broadcasting Test Platform in Copenhagen. In *2020 13th CMI Conference on Cybersecurity and Privacy (CMI) - Digital Transformation - Potentials and Challenges*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CMI51275.2020.9322758>
- [14] IETF. 2023. Media Over QUIC (moq). <https://datatracker.ietf.org/wg/moq/about/>. Online; acessado em: 23 jul. 2025.
- [15] ISO/IEC. 2022. Information technology – Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) – Part 1: Media presentation description and segment formats. <https://www.iso.org/standard/83314.html>. 5ª edição; acessado em 23 jul. 2025.
- [16] Marina Ivanov, Joel A. F. dos Santos, Rômulo Vieira, and Débora C. Muchaluat-Saade. 2024. TV 3.0: Integração e Controle de Renderizadores de Efeitos Sensoriais. In *Anais Estendidos do XXX Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia)*. SBC - Brazilian Computing Society, Porto Alegre, Brazil, 297–302.
- [17] Jana Iyengar, Martin Thomson, and et al. 2021. QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport. RFC 9000, Internet Engineering Task Force. Standards Track; ISSN2070-1721.
- [18] Boris Kauffmann. 2024. *Arquitetura de Referência ATSC 3.0 em Nuvem Pública*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Advisor(s) Akamine, Cristiano.
- [19] Boris Kauffmann, Cristiano Akamine, George Henrique Maranhão Garcia de Oliveira, Gustavo de Melo Valeira, and Ricardo Seriacopi Rabaça. 2024. TV 3.0: Especificações da camada de transporte e física. In *Minicursos do XXX Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia)*. Universidade Federal de Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Computação, 91–125.
- [20] Soon Kim, Jae-young Lee, and Hye-Ju Oh. 2023. Design of Cloud-based remote collaborative system for broadcasting production workflow. In *2023 14th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. ETRI, IEEE, 1404–1406. <https://doi.org/10.1109/ICTC58733.2023.10393248>
- [21] Soonchoul Kim, Jae-young Lee, Hye-Ju Oh, and Dong Joon Choi. 2022. Overview of Cloud-Based High Quality Media Production System. In *2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. ETRI, IEEE, 800–802. <https://doi.org/10.1109/ICTC55196.2022.9952488>
- [22] Marcelo F. Moreno, Débora Muchaluat-Saade, Guido Lemos, Sérgio Colcher, Carlos Soares Neto, Li-Chang Shuen C.S. Soares, and Joel dos Santos. 2024. TV 3.0: Especificações da camada de codificação de aplicações. In *Minicursos do XXX Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia)*. Universidade Federal de Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Computação, 126–169.
- [23] Yuriy Reznik, Jordi Cenzano, and Bo Zhang. 2021. Transitioning Broadcast to Cloud. *Appl. Sci.* 11, 503 (2021). <https://doi.org/10.3390/app11020503>
- [24] Matthias Seufert, Luca De Cicco, Dario Rossi, Jens Schmitt, Keith W. Ross, and Raimund Schatz. 2015. A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17, 1 (2015), 469–492. <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2360940> Acessado em: 23 jul. 2025.
- [25] M. P. Sharabayko, M. A. Sharabayko, J. Dube, J. S. Kim, and J. W. Kim. 2021. The SRT Protocol. <https://haivision.github.io/srtfc/draft-sharabayko-srt.html>. Online; acessado em: 23 jul. 2025.
- [26] Gordon Kent Walker, Thomas Stockhammer, Giridhar Mandyam, Ye-Kui Wang, and Charles Lo. 2016. ROUTE/DASH IP Streaming-Based System for Delivery of Broadcast, Broadband, and Hybrid Services. *IEEE Transactions on Broadcasting* 62, 1 (2016), 328–337. <https://doi.org/10.1109/TBC.2016.2515539>
- [27] Waqar Zia, Thomas Stockhammer, Lena Chaponnière, Giridhar Mandyam, and Michael Luby. 2022. Real-Time Transport Object Delivery over Unidirectional Transport (ROUTE). RFC 9223, Informational. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc9223> IETF Independent Submission; acessado em 25 jul. 2025.