

Capítulo

3

TV 3.0: Especificações das Camadas de Transporte e Física

Boris Kauffmann¹, Cristiano Akamine¹, George Henrique Maranhão Garcia de Oliveira¹, Gustavo de Melo Valeira¹, Ricardo Seriacopi Rabaça¹

¹Laboratório de TV Digital - Escola de Engenharia - Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Rua Maria Antônia, 307 – CEP: 01222-010 – São Paulo – SP – Brasil

borismann909@gmail.com, cristiano.akamine@mackenzie.br,

george.oliveira@mackenzie.br, gustavo.valeira@mackenzie.br,

ricardo.rabaca@mackenzie.br

Abstract

The purpose of this chapter is to detail the technologies adopted in the Transport and Physical Layers of the third generation of terrestrial television, called TV 3.0 and also known as DTV+. Specific objectives include the requirements, the technologies evaluated, laboratory testing procedures, and the results obtained. Finally, the technologies adopted for the transport layer, Real-time Object delivery over Unidirectional Transport (ROUTE) and Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) will be explained, including the protocols and signalings. At the physical layer, the stages of channel coding, interlacing and modulation with uniform and non-uniform constellation, Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) modulation, multiplexing and Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) will be presented. This document presents a theoretical approach and the results of tests carried out in the laboratory.

Resumo

O objetivo deste capítulo é detalhar as tecnologias adotadas nas Camadas de Transporte e Física da terceira geração de televisão terrestre, denominada de TV 3.0 e também conhecida como DTV+. Como objetivos específicos serão abordados os requisitos, as tecnologias avaliadas, os procedimentos de testes usados em laboratório e resultados obtidos. Por fim, as tecnologias adotadas na camada de transporte, o Real-time

Object delivery over Unidirectional Transport (ROUTE) e Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) serão explicadas incluindo os protocolos e sinalizações envolvidos. Na camada física, serão apresentados os estágios de codificação de canal, entrelaçamento e modulação com constelação uniforme e não uniforme, modulação Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), multiplexação e Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). Este documento tem uma abordagem teórica e apresenta resultados dos ensaios realizados em laboratório.

3.1. Introdução

Desde o seu surgimento, nos anos 50, a Televisão (TV) aberta em preto e branco (aqui chamada de TV 1.0) superou o rádio e jornais e se tornou um dos principais meios de comunicação no país. Em 1972, a TV ganhou cores com a tecnologia *Phase Alternating Line* (PAL)-M retrocompatível com a TV preto e branco e que foi desenvolvida no Brasil (aqui denominada de TV 1.5) (SENATORI; SUKYS, 1984). Após uma década, a TV 1.5 ganhou outros recursos como as legendas eletrônicas e segundo canal de áudio (áudio estéreo). Testes nas tecnologias de TV digital foram realizadas pelo consórcio formado pela Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET), Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (ABERT) e Mackenzie (SET, ABERT, UPM, 2000) e em 2004 o governo Brasileiro fomentou pesquisas para o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T). Em 2007, após muitos estudos e pesquisas da comunidade científica brasileira, o SBTVD-T foi adotado tendo como base a camada física do sistema japonês de TV digital, que ficou internacionalmente conhecido por *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial - Version B* (ISDB-Tb) e aqui denominado de TV 2.0 (BRASIL, 2006). A TV 2.0 foi adotada por 19 países e fortaleceu a indústria nacional, permitindo a exportação de equipamentos produzidos no Brasil para a América do Sul, Central, Continente Africano e Ásia (DIBEG, 2023).

No início do desenvolvimento da primeira geração destes padrões, com o objetivo de alcançar a TV em alta resolução, do inglês *High Definition Television* (HDTV), foram criados modelos diferentes, resultando em um conjunto de padrões de TV digital, como, por exemplo, o *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) que é o comitê responsável pela criação e pelo desenvolvimento do padrão americano. Foi criado também o padrão europeu, conhecido como *Digital Video Broadcasting* (DVB), o padrão chinês, conhecido como *Digital Terrestrial Television Multimedia Broadcasting* (DTMB), e as normas *Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB), que definiram o padrão japonês de TV digital (WU et al., 2006). Este último foi utilizado como base para o desenvolvimento do SBTVD-T.

No Brasil, o governo federal criou o SBTVD-T, por meio do Decreto número 5.820, de 29 de junho de 2006, que estabeleceu as diretrizes para migração do sistema analógico para o digital (BRASIL, 2006). O padrão utilizado no Brasil foi fruto de uma parceria com o governo japonês e também foi adotado em outros países da África e da América Latina (DIBEG, 2023). Essa migração teve início em 2016 e deve ser concluída em 2025. Após o término deste processo, os canais utilizados para transmissão analógica serão devolvidos à União e poderão ser utilizados, por exemplo, na implantação da TV 3.0, também conhecida como *Digital Television* (DTV)+ (MCOM, 2023).

Com a TV 2.0, a imagem recebida nos lares brasileiros passou a ser cristalina, sem chuviscos e fantasmas e em alta definição, ou seja, com qualidade *High Definition* (HD). Além disso, foram introduzidas características como, por exemplo, o áudio com até 5.1 canais, a interatividade e as recepções móvel e portátil. Após doze anos de operação, a TV 2.0 passou a ser incompatível com novos recursos disponíveis nos aparelhos de TV. Para competir com os serviços de TV por assinatura, *internet* e *streaming*, em 2018, o Fórum do SBTVD-T iniciou um processo de atualização da TV 2.0 que foi chamada de TV 2.5. A TV 2.5 passou a suportar novas tecnologias como o *High Dynamic Range* (HDR), áudio imersivo e o sistema *Integrated Broadcast-Broadband* (IBB), que é capaz de realizar o *streaming* de áudio/vídeo para outros dispositivos (segunda tela) e propaganda direcionada e sincronizada por meio da *internet*.

Além do Brasil outros países estão no processo de avaliação e implantação de novas tecnologias de TV digital como o *Advanced Television Systems Committee 3.0* (ATSC 3.0), o *Advanced Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T), o *Digital Terrestrial Television Multimedia Broadcasting-Advanced* (DTMB-A) e o *5G Broadcast*.

O padrão norte americano ATSC 3.0 foi adotado na Coreia do Sul, país onde foi feita a primeira transmissão terrestre regular em *Ultra High Definition* (UHD), em 30 de maio de 2017 (PARK et al., 2018; JEON et al., 2018). O ATSC 3.0 também foi adotado nos Estados Unidos em 2018, Jamaica em 2022 e Trinidad & Tobago em 2023. Está previsto que o ATSC 3.0 seja adotado no Canadá e México, mas ainda sem data para a implantação. O ATSC 3.0 está em avaliação na Índia (com foco em recepção móvel, competindo contra o *5G Broadcast*).

A implantação do padrão japonês, *Advanced ISDB-T*, está prevista para iniciar a partir de 2025 (aniversário de 100 anos da Corporação de Radiodifusão Japonesa (NHK)), com financiamento público. O espectro utilizado para DTV no Japão é apenas *Ultra High Frequency* (UHF) (470-698 MHz). A estratégia para liberação de espectro envolve um replanejamento para utilizar mais intensivamente *Single-Frequency Network* (SFN) (praticamente não utilizadas na implantação da primeira geração), liberando alguns canais para o *simulcast* da nova geração. O governo japonês não pretende usar *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), porque grande parte dos domicílios japoneses já possuem antenas externas UHF de polarização horizontal, individuais ou coletivas, e eles não desejam promover essa troca. A NHK também pretende utilizar *Channel Bonding* (CB) para viabilizar a transmissão da camada de enriquecimento 8K pelo ar. Quando não for possível, pretendem transmitir essa camada de enriquecimento pela *internet* (MIYASAKA et al., 2020).

O *5G Broadcast*, também conhecido como *Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service* (FeMBMS) é uma evolução de gerações anteriores de sistemas *broadcast / multicast* que utilizam tecnologias de redes celulares (*evolved Multimedia Broadcast Multicast Service* (eMBMS) ou *Long Term Evolution* (LTE) *Broadcast e Multimedia Broadcast Multicast Service* (MBMS)). O *5G Broadcast* foi desenvolvido em 2015 com ativa participação da *European Broadcast Union* (EBU), visando atender requisitos definidos pelos radiodifusores públicos europeus, a saber (ETSI, 2023):

- Possibilidade de recepção aberta e gratuita (sem *Subscriber Identity Module* (SIM))

card);

- Possibilidade de transmissão unidirecional dedicada (100 % do tempo), independente das redes móveis celulares, utilizando canais de 6, 7 ou 8 MHz na faixa de UHF alocada para o serviço de radiodifusão (470-694/698 MHz);
- Suporte a SFN com até 60 km de distância entre sites;
- *Quality of Service* (QoS) previsível;
- Reuso (tanto quanto possível) de tecnologias *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) já utilizadas nas redes celulares, para facilitar a integração do receptor em dispositivos móveis em escala global.

O modelo chinês também já está na sua versão mais moderna, o DTMB-A (SONG et al., 2019), mas teve a proposta retirada na Fase 3 do projeto da TV 3.0.

3.2. Projeto TV 3.0

O Fórum do SBTVD-T, amparado pelo decreto No. 5820 de 2006, procurou dar uma sobrevida com o projeto da TV 2.5, mas devido às limitações de retrocompatibilidade, codificação de fonte, camada de transporte e física, estudos da próxima geração da TV digital a ser adotada no Brasil (aqui denominada de TV 3.0) tiveram início (BRASIL, 2006).

Assim, a chamada de propostas foi dividida em duas fases. A chamada da Fase 1 foi publicada em 17 de julho de 2020 e movimentou organismos de padronização, institutos de pesquisa e universidades. A Fase 1 foi concluída em 30 de novembro de 2020 e o Fórum do SBTVD-T recebeu 36 propostas, de 21 grupos de pesquisa, nas seis componentes que constituem o projeto da TV 3.0 (camada física, camada de transporte, codificação de vídeo, codificação de áudio, legendas e codificação de aplicações). Algumas propostas semelhantes foram combinadas para fins de teste e avaliação na Fase 2, resultando em 32 tecnologias candidatas (FÓRUM SBTVD, 2023a).

Para a realização da Fase 2, o Ministério das Comunicações (MC), por meio do Termo de Execução Descentralizada (TED) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), aprovou a proposta de “Fomento aos Testes e Avaliação de Tecnologias para a TV 3.0” tendo como proponentes a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), e o Laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia Mackenzie (LABTVD) da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) como instituição parceira executora dos testes das camadas física e de transporte.

A Fase 2 teve início em 05 de julho de 2021 e a avaliação das tecnologias foi realizada nos equipamentos (*hardware* e/ou *software*) enviados aos laboratórios. Os testes de laboratório foram concluídos em 03 de dezembro de 2021 e o conselho deliberativo do Fórum do SBTVD-T escolheu e recomendou para o MC as tecnologias a serem usadas na TV 3.0 (FÓRUM SBTVD, 2023a).

O relatório técnico de desempenho dos sistemas avaliados foi disponibilizado na página do Fórum do SBTVD-T, após decisão do conselho deliberativo. Os Módulos de

Mercado e Propriedade Intelectual do Fórum do SBTVD-T avaliaram as condições comerciais de cada proponente e também ajudaram nas tomadas de decisão. Considerando os resultados dos testes e da avaliação da Fase 2 do projeto TV 3.0, bem como os aspectos de mercado e de propriedade intelectual das tecnologias candidatas, o Fórum do SBTVD-T encaminhou suas recomendações sobre a seleção das tecnologias candidatas ao MC do Brasil. Essas recomendações obtiveram a concordância do MC para divulgação pelo Fórum.

Foram adotadas as seguintes decisões para a continuidade do projeto TV 3.0, considerando as camadas física e de transporte:

- Camada física - *Over-the-air* (OTA): Foi decidida pela realização de testes adicionais nas tecnologias proponentes. Requisitos: fornecer equipamento com suporte para reuso de frequência - 1, MIMO e CB. Apenas os dois melhores resultados de laboratório da Fase 3 passariam para os testes de campo;
- Camada de transporte: Adotou as tecnologias *Real-time Object delivery over Unidirectional Transport* (ROUTE) / *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* (DASH) como base para a TV 3.0, incluindo adaptações para suportar todos os requisitos do projeto e as tecnologias adotadas nas outras camadas. Ademais, decidiu manter o suporte opcional para o fluxo *HTTP Live Streaming* (HLS) (como atualmente disponível na especificação da TV 2.5) para a distribuição de conteúdos alternativos por meio da *internet*, porém não sendo permitido o seu uso com *Moving Picture Experts Group* (MPEG)-2 *Transport Stream* (TS), *Packed Audio* e legendas *Internet Media Subtitles and Captions* (IMSC).

Os requisitos da TV 3.0 foram elaborados por três grupos de trabalho: Módulo Técnico, Módulo de Mercado e Módulo da Propriedade Intelectual e contaram com a participação dos setores da Radiodifusão, Transmissão, Recepção, Indústria de *software*, Academia e Governo, por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do MC e da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel)), que compõem o Fórum do SBTVD-T. Cinco subgrupos foram criados no Módulo Técnico para definirem os requisitos da Codificação de Áudio/Vídeo, Camada de Transporte e Física, Interatividade, Acessibilidade e Sistema de Alerta de Emergência (FÓRUM SBTVD, 2023a).

Dentre os requisitos da TV 3.0 estão o suporte a codificação escalável com resoluções de vídeo entre HD e o 8K UHD, áudio imersivo 3D, sistema IBB baseado no Perfil D da aplicação Ginga (DTVPlay), acessibilidade com língua brasileira de sinais e alerta de emergência por microrregiões. A camada de transporte é baseada em *Internet Protocol* (IP) e permite o sincronismo de mídia entre o sinal recebido pelo ar (Radiofrequência (RF)) e o recebido via *internet*. A operação cooperativa com outras plataformas de distribuição permite a fácil retransmissão do sinal pelos vários sistemas de telecomunicação disponíveis, que não a própria radiodifusão, como, por exemplo, *internet*, TV a cabo, satélite e sistemas móveis (4G, 5G). Inclui-se também a possibilidade de operação cooperativa com esses sistemas de telecomunicação, promovendo o surgimento de novos modelos de negócio (FÓRUM SBTVD, 2023a).

No final do mês de setembro de 2023, após a Fase 3 dos testes de laboratório da Camada física, o Fórum do SBTVD-T fez uma recomendação técnica que determinou que apenas os sistemas ATSC 3.0 e o *Advanced* ISDB-T iriam para a fase de testes de campo (FÓRUM SBTVD, 2023b). Portanto, a tecnologia proponente *5G Broadcast* não foi testada em campo (FÓRUM SBTVD, 2023a).

Os testes de campo foram realizados entre dezembro de 2023 e maio de 2024 e o Fórum do SBTVD-T fez a recomendação técnica para a adoção do ATSC 3.0 para a camada física da TV 3.0 (FÓRUM SBTVD, 2024).

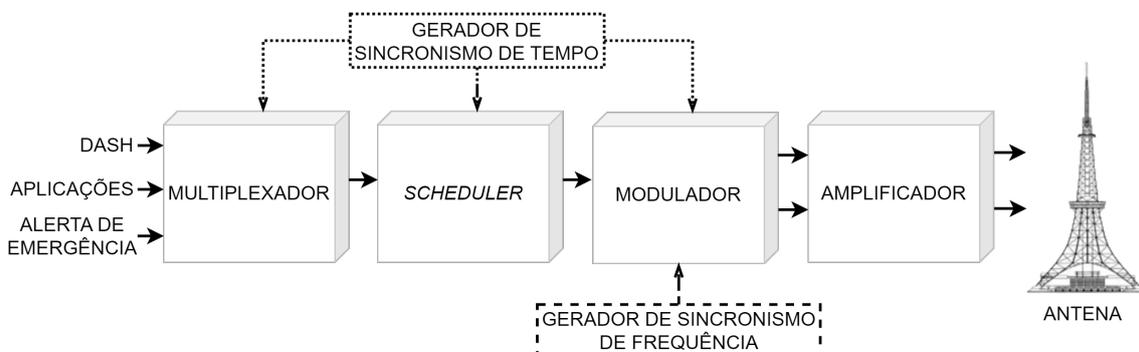
Considerando o decreto No. 11.484 de 6 de abril de 2023, o prazo para conclusão das atividades pelo grupo de trabalho da TV 3.0 é a data de 31 de dezembro de 2024. A TV 3.0 está sendo concebida com um conjunto de nove normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira Regulamentadora (NBR), são elas: Camada Física ABNT NBR 26601 (ABNT, 2024a), Camada de Transporte ABNT NBR 26602 (ABNT, 2024b), Codificação de Vídeo ABNT NBR 26603 (ABNT, 2024c), Codificação de Áudio ABNT NBR 26604 (ABNT, 2024d), Legendas ABNT NBR 26605 (ABNT, 2024e), Língua de Sinais ABNT NBR 26606 (ABNT, 2024f), Alerta de Emergência ABNT NBR 26607 (ABNT, 2024g), Codificação de Aplicações ABNT NBR 26608 (ABNT, 2024h) e Receptores ABNT NBR 26609 (ABNT, 2024i).

Sendo assim, estima-se que as transmissões comerciais da TV 3.0 terão início em 2025 (BRASIL, 2023) e, a partir de 2029, todos os televisores manufaturados no Brasil já terão que integrar os novos recursos da TV 3.0. Vale ressaltar que a vida útil de um transmissor e antena/aparelho receptor de TV é de quinze e dez anos, respectivamente. Portanto, a partir de 2025 os transmissores de TV digital terão que ser substituídos e já poderão contar com a tecnologia da TV 3.0.

3.2.1. Descrição do Sistema

As Figuras 3.1 e 3.2 mostram os diagramas dos estágios de transmissão MIMO da TV 3.0 considerando redes *Multi-Frequency Network* (MFN) e SFN, respectivamente, conforme define a norma ABNT NBR 26601 (ABNT, 2024a).

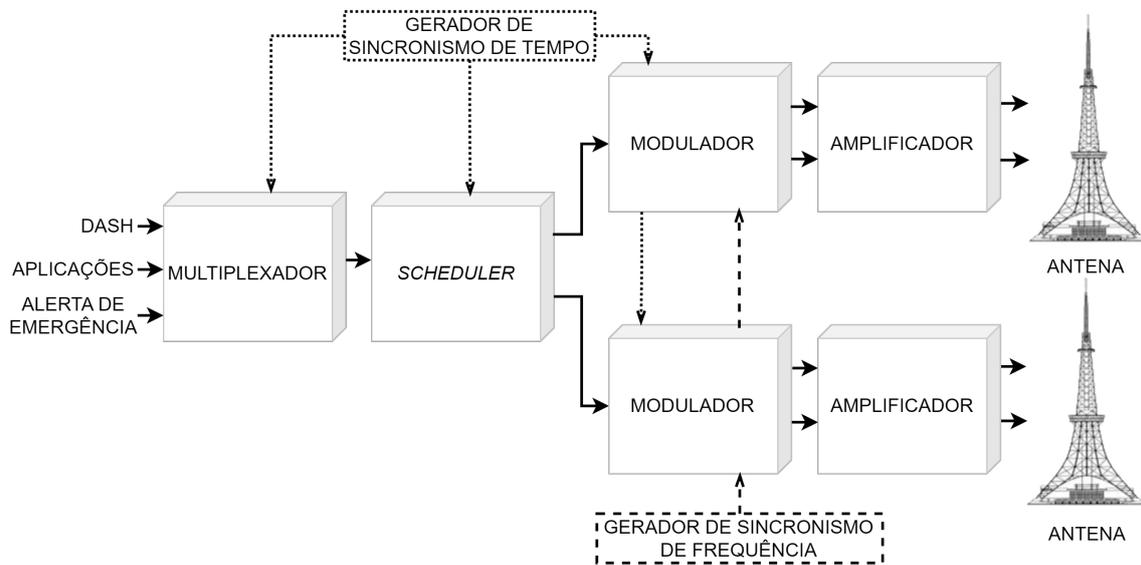
Figura 3.1. Visão geral do sistema de transmissão em MFN - MIMO.



Fonte: (ABNT, 2024a).

Os dados de áudio, vídeo e legendas são codificados em DASH e encaminhados

Figura 3.2. Visão geral do sistema de transmissão em SFN - MIMO.



Fonte: (ABNT, 2024a).

ao multiplexador, junto com as aplicações e alerta de emergência. A seção ROUTE é criada no estágio de multiplexação, conforme definido na ABNT NBR 26602 (ABNT, 2024b), onde os dados e a sinalização são incorporados e entregues no método de transporte ROUTE / DASH, conforme definido na norma ABNT NBR 26602 (ABNT, 2024b). O *scheduler* gera a camada de conexão e transporta os dados da rede para a camada física. Suas operações, incluindo encapsulamento, compactação e sinalização da camada de enlace com a *Link Mapping Table* (LMT), são chamadas de *ATSC Link-layer Protocol* (ALP) e os pacotes criados usando esse protocolo são chamados de pacotes ALP, conforme definido no documento ATSC A/330 (ATSC, 2024d). O *scheduler* encapsula as informações recebidas do multiplexador, acrescenta informações sobre os parâmetros de modulação/codificação, conhecidos como *Modulation and Codings* (MODCODs), para cada *Physical Layer Pipe* (PLP) e método de multiplexação, como, por exemplo, o *Time-Division Multiplexing* (TDM), o *Frequency-Division Multiplexing* (FDM) e o *Layered Division Multiplexing* (LDM), com *Layered MIMO* dos tipos A ou B, da rede MFN / SFN, entre outros, e entrega o formato *Studio-to-Transmitter Link Transport Protocol* (STLTP), conforme definido na norma ATSC A/324 (ATSC, 2024c). A partir do STLTP, o modulador transmite o sinal em MIMO, incluindo o *bootstrap* definido no documento ATSC A/321 (ATSC, 2024a) e o *MIMO Transmitter Identification* (TxID) (é possível configurar o mesmo endereço de TxID e a atenuação aplicada ao TxID).

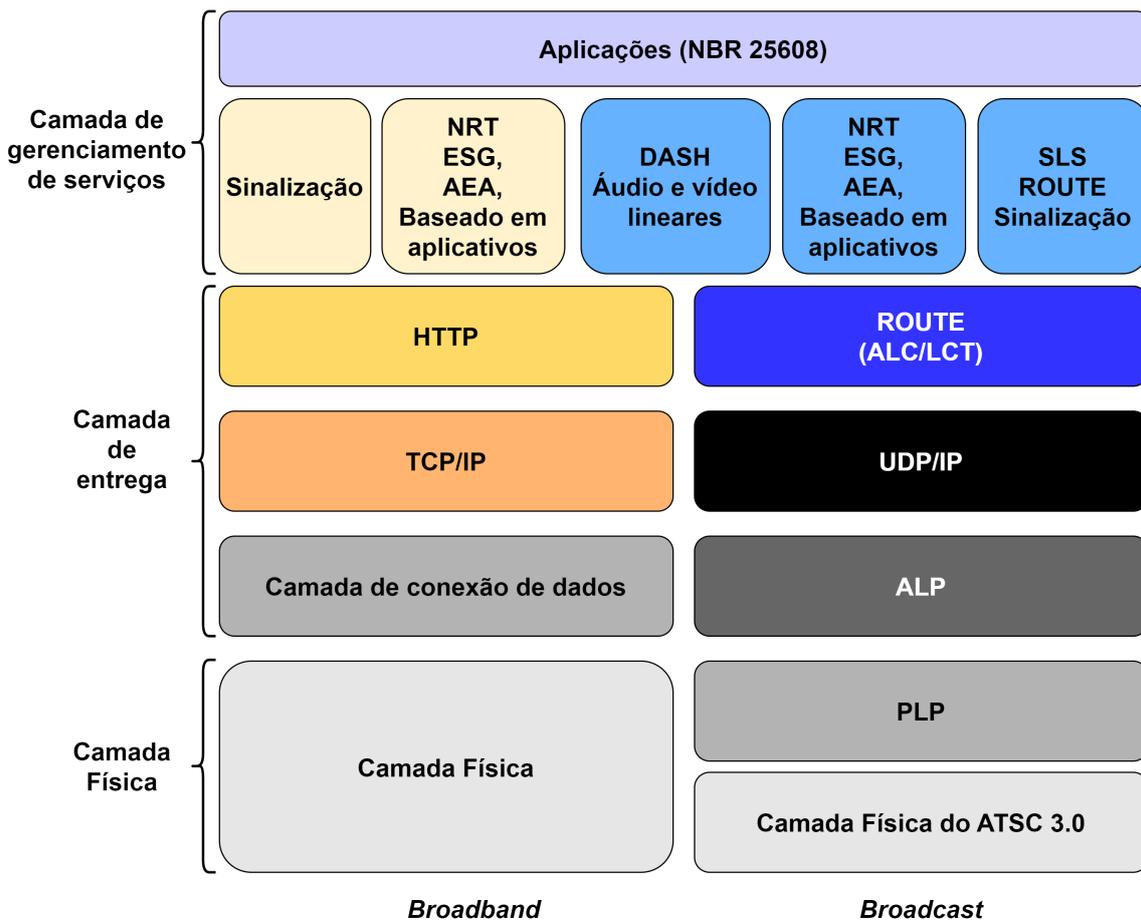
3.3. Camada de Transporte

Como mostrado no item 3.2.1, os serviços TV 3.0 são entregues usando três camadas funcionais: a Camada Física, a Camada de Entrega e a Camada de Gerenciamento de Serviço. A Camada Física fornece o mecanismo pelo qual a sinalização, o anúncio de serviços e os fluxos de pacotes IP são transportados via *broadcast* e/ou *broadband*.

A Camada de Entrega fornece a funcionalidade de transporte e fluxo de objetos. Um modelo conceitual da TV 3.0 é apresentado na Figura 3.3 (ABNT, 2024h; ATSC, 2024e), que ilustra a utilização do ROUTE, operando em *multicast* e *User Datagram Protocol* (UDP) sobre a Camada Física de *broadcast*, e do *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) em *unicast* e *Transmission Control Protocol* (TCP) sobre a Camada de Rede de *broadband*.

A Camada de Gerenciamento de Serviço suporta principalmente os meios para descoberta e aquisição de serviços, permitindo diferentes tipos de serviços, como TV linear e/ou serviço de aplicativo *Hypertext Markup Language* (HTML) 5, serem transportados pelas camadas de Entrega e Física subjacentes, consistindo em dois elementos funcionais: a Sinalização *Bootstrap* por meio da *Service List Table* (SLT) e da *Service Layer Signaling* (SLS). A SLT permite que o receptor crie uma lista básica de serviços e inicie a descoberta da SLS para cada serviço TV 3.0. Além da SLT, no sistema DTV+, foram incorporadas novas tabelas, como a *Bootstrap Application Manifest Table* (BAMT) e a *Transmitter's Best Server Area Table* (TBSAT) (ABNT, 2024b).

Figura 3.3. Pilha de protocolos da TV 3.0.



Fonte: Adaptado e traduzido de ABNT (2024h), ATSC (2024e)

3.3.1. Camadas de Entrega e Gerenciamento de Serviços

Esta seção apresenta os protocolos ROUTE e DASH, as sinalizações da Camada de Gerenciamento de Serviços e Sinalizações, tabelas adicionais do ATSC 3.0 relevantes, como, por exemplo, a *Advanced Emergency Information Table* (AEAT), e as descrições adicionadas pelo ATSC 3.0 ao ROUTE, como o *User Service Bundle Description* (USBD) e *Service-based Transport Session Instance Description* (S-TSID).

3.3.2. ROUTE

O ROUTE é um protocolo definido na *Request for Comments* (RFC) 9223 da *Internet Engineering Task Force* (IETF) para transferência de arquivos sobre redes IP desenvolvida em *File Delivery over Unidirectional Transport* (FLUTE) (IETF, 2022). O FLUTE é definido pela RFC 6772 da IETF (2012) originalmente pensado para transmissão multimídia em ambientes *Local Area Network* (LAN) e 3GPP. O ROUTE é baseado em UDP e é uma extensão do protocolo *Layered Coding Transport* (LCT) definido na RFC 5661 da IETF (2020).

Diferentemente do FLUTE, o ROUTE suporta transmissão de objetos de mídia em tempo real e proporciona mais flexibilidade no empacotamento de dados. Além disso, o ROUTE permite definir o formato do pacote, o protocolo de origem e o protocolo de correção. Os protocolos supramencionados operam de forma independente e definem tanto a sessão ROUTE como a sessão de transporte para os metadados e transmissão de objetos. O ROUTE é usado tanto para transmissões em tempo real dos manifestos e segmentos DASH, bem como em dados *Non-Real Time* (NRT), como, por exemplo, envio de atualizações de *software*, conteúdos necessários a aplicações de interatividade e até no pré-posicionamento de anúncios para posterior reprodução pelo receptor (KAUFFMANN, 2024).

Este protocolo pode ser usado para a entrega eficaz de dados que têm significado para aplicações que utilizam o protocolo ROUTE. Sendo assim, ele pode entregar um arquivo, um segmento DASH, um clipe de áudio, entre outros. Além disso, o protocolo ROUTE também suporta aplicações de *streaming* de baixa latência.

O protocolo ROUTE é adequado para transporte *unicast* e *multicast*. Dessa forma, ele pode ser executado usando redes UDP / IP e pode aproveitar os recursos da camada de protocolo subjacente.

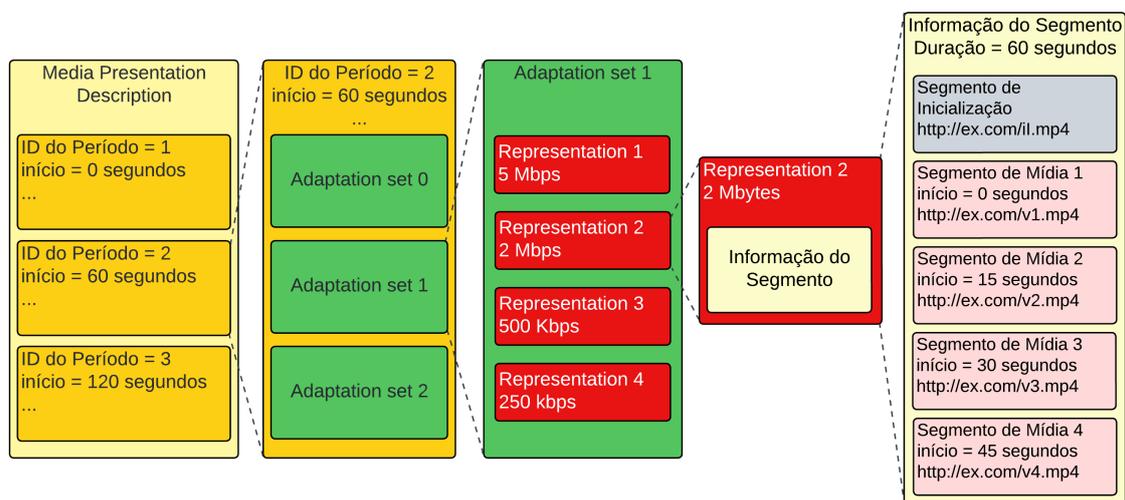
A RFC 9223 especifica o protocolo ROUTE de forma que ele possa ser usado por uma variedade de serviços para entrega de objetos de aplicação, especificando seus próprios perfis deste protocolo, como, por exemplo, adicionando ou restringindo algumas funcionalidades. Vale ressaltar que este documento não é uma especificação da IETF e não possui consenso da IETF. Ele é fornecido para ajudar na produção de implementações interoperáveis.

A estrutura geral do ROUTE é mostrada na Figura 3.4 (IETF, 2022), com destaque para o cabeçalho LCT. Para tanto, a IETF (2022) determina os valores de alguns dos campos do cabeçalho LCT para o ROUTE.

(ISO/IEC, 2022). Esta norma permite a transmissão de conteúdo de mídia em segmentos de arquivos de mídia pequenos e autocontidos. Cada segmento contém uma curta duração do conteúdo total, e estes segmentos são servidos por meio de servidores *web* padrão. A principal vantagem do DASH é sua capacidade de se adaptar à qualidade do *streaming* em tempo real, baseando-se nas condições da rede e na capacidade do dispositivo do usuário. O DASH funciona dividindo o conteúdo de mídia em uma série de segmentos e oferecendo esses segmentos em diferentes qualidades. Um arquivo de manifesto, conhecido como *Media Presentation Description* (MPD), descreve estes segmentos e suas qualidades (KAUFFMANN, 2024).

O cliente DASH lê o MPD e seleciona o segmento de mídia apropriado baseado na largura de banda disponível, capacidade de decodificação e preferências do usuário. Isso permite uma experiência de visualização otimizada, reduzindo o *buffer* e ajustando a qualidade do vídeo de acordo com as mudanças na largura de banda da rede. O MPD fornece informações dos conteúdos de mídia, como tipo de serviço, período, tempo de apresentação de mídia, informações de *Uniform Resource Locator* (URL), resolução e taxa de *bits*. O segmento de mídia é baseado no formato de arquivo ISO e consiste em pequenos pedaços de mídia dividindo os dados da mídia em unidades reais de tempo. A Figura 3.6 (SODAGAR, 2011) mostra como está organizada a estrutura do DASH, com seus diversos elementos e atributos, desde o MPD no elemento mais alto até a informação de segmentos onde são passadas as URLs que indicam o endereço de recuperação dos segmentos (KAUFFMANN, 2024).

Figura 3.6. Estrutura do *stream* DASH.



Fonte: Adaptado e traduzido de Sodagar (2011).

Como o DASH é baseado em padrões *web* existentes, como o HTTP e o *eXtensible Markup Language* (XML), ele é amplamente compatível com infraestruturas de *internet* existentes e pode ser implementado em uma grande variedade de dispositivos, incluindo computadores, *smartphones*, *tablets* e *Smart TVs*.

Sendo a segunda metodologia de entrega definida na norma do ATSC 3.0, o uso do

DASH permite a entrega nos formatos *broadcast*, *broadband* ou híbrido.

No formato de serviço híbrido, na qual adicionalmente a entrega *broadcast*, um ou mais elementos de programa também são entregues via *broadband*, a utilização do DASH facilita o fluxo de trabalho, já que os mesmos arquivos de mídia no formato DASH, baseados no *ISO Base Media File Format (ISOBMFF)*, são utilizados como formato de entrega, encapsulamento e sincronização, seja no *broadcast* ou no *broadband* (KAUFFMANN, 2024).

A principal diferença reside no protocolo de transporte. Enquanto no *broadcast*, se utiliza o ROUTE combinado com UDP, no *broadband* se utiliza o HTTP sobre TCP. Na comunicação via *internet*, diferentemente do modelo de irradiação unidirecional de RF com antenas, é possível estabelecer TCP *handshake* e retransmissão de pacotes perdidos, caso necessário.

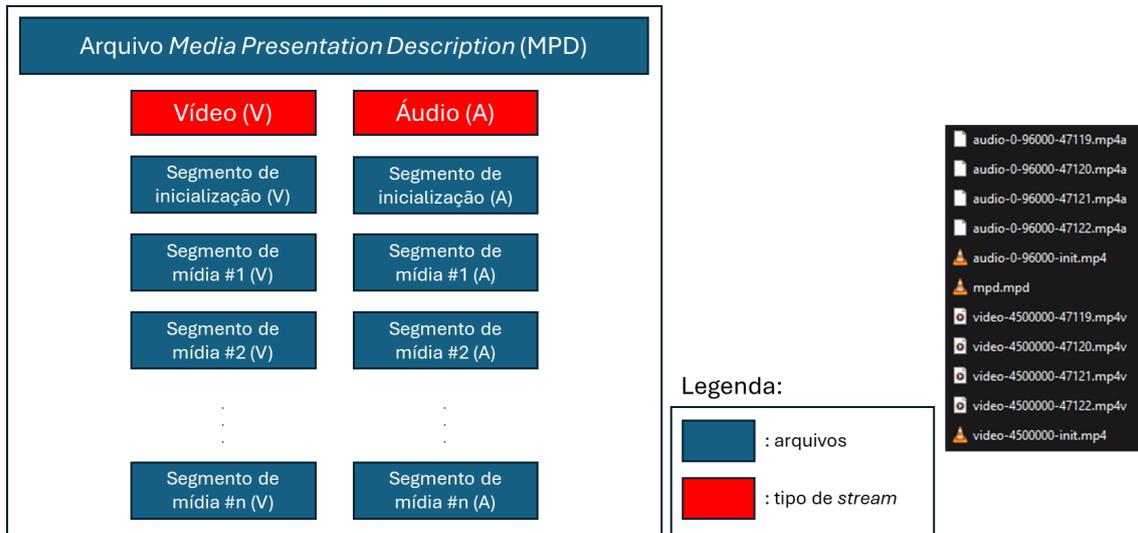
O DASH foi desenvolvido pelo MPEG para serviços de banda larga e pode fornecer múltiplos fluxos usando uma arquitetura baseada em servidor. Desde que popularizou-se entre os serviços de *streaming*, várias ferramentas e produtos foram lançados e desenvolvidos para atender esse mercado.

Nos últimos anos, a indústria de mídia vem ampliando a utilização do formato DASH. O motivo principal é a grande quantidade já existente de conteúdo disponível no formato DASH, tornando-o adequado para servir como formato nativo para entrega via *broadcast*. Este conteúdo pode ser reproduzido usando clientes DASH já existentes, reduzindo o investimento e os esforços necessários para preparação dos conteúdos e estruturação das formas de consumo, enquanto otimiza o uso dos recursos existentes dos sistemas de transmissão e entrega multimídia atuais (KAUFFMANN, 2024).

Diversas organizações de padronização, incluindo a *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* com seu padrão DVB (ETSI, 2022) e mais recentemente o ATSC, trabalharam para habilitar o DASH como formato de entrega para o *broadcast*. Ainda que previamente o protocolo utilizado para essa entrega tenha sido o FLUTE, ele não foi originalmente desenhado para entrada de conteúdos em tempo real requeridos nas aplicações de *broadcast*. Dessa forma, o ATSC utilizou o protocolo ROUTE que elimina dificuldades encontradas no FLUTE para entrega de objetos em tempo real, como pode ser visto no documento ATSC A/331 (ATSC, 2024e).

Na Figura 3.7 (VALEIRA, 2024) é exemplificada a estrutura de arquivos do DASH, para um caso de *broadcast* com apenas um *stream* de áudio e um de vídeo. Na parte direita desta figura são ilustrados os arquivos dos segmentos de áudio e vídeo recebidos.

Figura 3.7. Exemplo da estrutura de arquivos do DASH.



Fonte: Adaptado de Valeira (2024).

As diretrizes para implementação dos pontos de interoperabilidade do DASH com o ATSC 3.0 são detalhadas no documento DASH-IF (2018).

3.3.4. Sinalizações da Camada de Gerenciamento de Serviços

No ATSC 3.0 existem as sinalizações que fazem parte do *Low Level Signaling* (LLS), que são tipicamente transmitidas da maneira mais robusta, e a SLS, que são sinalizações presentes dentro do protocolo ROUTE, mas que foram definidas pelo ATSC 3.0 na norma ATSC A/331 (ATSC, 2024e).

3.3.4.1. Low Level signaling

Destacam-se as seguintes tabelas LLS definidas pelo ATSC 3.0: SLT e AEAT. A TV 3.0 acrescentou a BAMT e TBSAT.

A SLT facilita a aquisição rápida de informações básicas de serviço. Informações importantes que constam nela são o endereço IP e porta de cada um dos serviços.

A AEAT permite que as emissoras sinalizem detalhes sobre uma emergência, incluindo localização, nível de prioridade, público-alvo, entre outros. Esta tabela é crucial para a transmissão eficaz de alertas de emergência no sistema ATSC 3.0.

O ATSC 3.0 permite que as emissoras entreguem arquivos relacionados à *Advanced Emergency Information* (AEA) por meio de *broadcast* ou *broadband*. A AEAT fornece um mecanismo para associar os arquivos a uma determinada mensagem de emergência (por exemplo, mapas de evacuação, vídeos de tráfego em rotas de evacuação ou outros tipos de arquivos) e indicação de canal que esteja apresentando cobertura ao vivo do evento, como é mostrado no documento ATSC A/331 (ATSC, 2024e).

A BAMT é usada para identificar a emissora e as características do aplicativo, conforme o documento a ABNT NBR 26608 (ABNT, 2024h).

A TBSAT contém atributos relacionados a área de cobertura SFN e cada mensagem *Transmitter's Best Server Area* (TBSA) é relacionada a cada transmissor em SFN, com atributos ligados a área onde o transmissor melhor cobre, como é explicado na norma ABNT NBR 26602 (ABNT, 2024b).

A SLT, AEAT, BAMT e TBSAT são estruturadas como um documento XML, facilitando o entendimento e depuração dos campos. Além disso, elas são transmitidas comprimidas com *gzip*, conforme (IETF, 1996).

3.3.4.2. *Service Layer Signaling*

A SLS é essencial para descrever as características de serviços de mídia. Ela fornece metadados importantes, como detalhes de canais de áudio e vídeo.

Essenciais para a correta identificação e decodificação do conteúdo pelos dispositivos receptores, as SLSs também facilitam a integração de conteúdo diversificado, melhorando a experiência do usuário. Além disso, suportam funcionalidades avançadas, como transmissões multilíngues e interatividade, e são compatíveis com várias plataformas de recepção, sendo cruciais para a flexibilidade e eficácia do ATSC 3.0.

Por exemplo, as descrições MPD do DASH, USBD e S-TSID são transmitidas dentro da SLS.

O USBD é um componente essencial no padrão ATSC 3.0, fundamental para a sinalização e descrição de serviços. Estruturado como um documento XML, o USBD fornece uma descrição detalhada dos serviços oferecidos em um pacote de serviços ATSC 3.0. O USBD inclui informações cruciais como identificadores de serviço, *status* de atividade, nomes de serviço em diferentes idiomas, e métodos de entrega (*broadcast* via ROUTE ou *broadband* via HTTP).

Um elemento chave do USBD é o *DeliveryMethod*, que especifica como o conteúdo é entregue, seja por *broadcast* (*BroadcastAppService*), *broadband* (*UnicastAppService*), ou ambos. Cada método pode incluir padrões base (*BasePattern*) para correspondência de URLs, facilitando aos dispositivos receptores a identificação do método de entrega apropriado. Estas informações detalhadas são essenciais para que os dispositivos receptores possam identificar, selecionar e acessar corretamente os conteúdos e serviços dentro do ecossistema ATSC 3.0.

O S-TSID é um documento XML que descreve as sessões de transporte para componentes de serviço entregues via ROUTE no ATSC 3.0. O S-TSID fornece informações detalhadas sobre as sessões ROUTE, incluindo, para cada tipo de componente (áudio, vídeo e legendas, por exemplo), o TSI, o *template* do nome dos segmentos de mídia, o nome do segmento de inicialização, o *Codepoint* e o tipo de componente (áudio, vídeo, etc), permitindo aos receptores localizarem e acessarem corretamente os componentes de serviço desejados.

3.3.5. Identificação do tipo de dados úteis carregados no ROUTE

Para cada pacote ROUTE, é sinalizado pelo campo *Codepoint*, o tipo de dados úteis que estão naquele pacote. A IETF (2022) define os respectivos valores do *Codepoint*, como pode ser visto na Figura 3.8 (IETF, 2022).

Figura 3.8. Valores do *Codepoint*.

| Valor do Codepoint | Semântica |
|--------------------|--|
| 0 | Reservado (não é usado) |
| 1 | Não em tempo real (NRT) - Modo Arquivo |
| 2 | NRT - Modo entidade |
| 3 | NRT - Modo de pacote não assinado |
| 4 | NRT - Modo de pacote assinado |
| 5 | Novo SdI, linha do tempo mudou |
| 6 | Novo SdI, linha do tempo continua |
| 7 | SdI redundante |
| 8 | Segmento de mídia, Modo Arquivo |
| 9 | Segmento de mídia, Modo entidade |
| 10 | Segmento de mídia, Modo arquivo com CMAF Random Access chunk |
| 11 - 255 | Reservado, serviço-específico |

Fonte: Adaptado e traduzido de IETF (2022).

Se destacam para os segmentos DASH, os valores 5, 6 e 7, que são usados para segmentos de inicialização (SdI). Já os valores 8 a 10 são usados para segmentos de mídia.

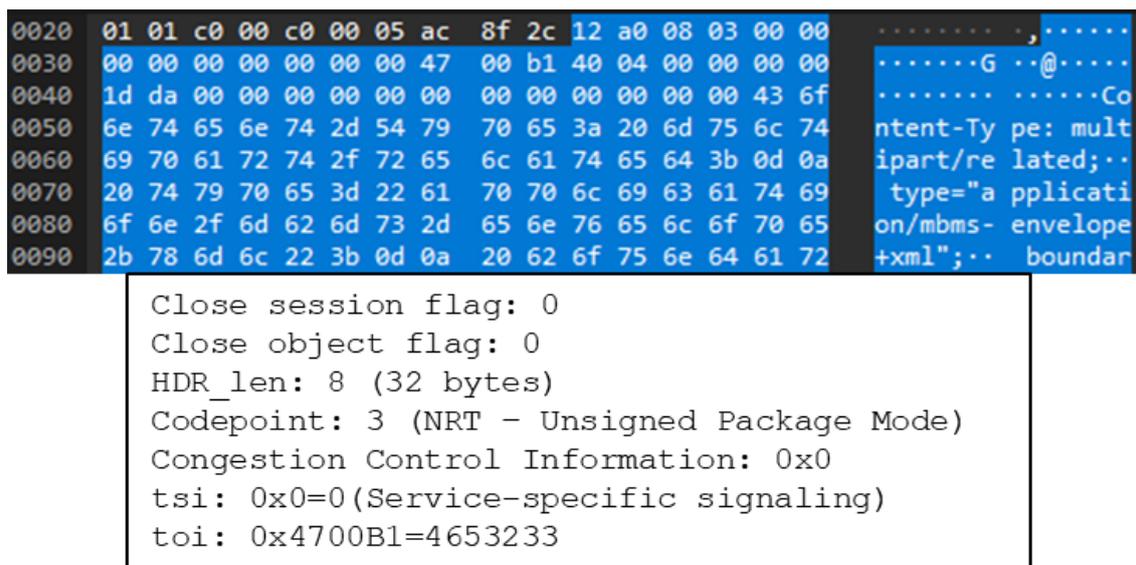
Quando o pacote ROUTE carrega a SLS, o campo que sinaliza isso é o TSI e o seu valor deve ser zero (IETF, 2022).

Na TV 3.0, existiram algumas alterações na SLS. Uma delas é relacionada a questão de privacidade, e para isso foi acrescentada a *Privacy Record Request Description* (PRRD). Outra alteração foi a substituição da *HTML Entry pages Location Description* (HELD) pela *Broadcaster Application Location Description* (BALD), por conta do projeto da TV 3.0 precisar de mais informações do que as já existentes na HELD. Por este motivo, o valor do TOI para pacotes SLS teve que ser alterado, conforme ABNT NBR

26602 ABNT (2024b).

A Figura 3.9 (WIRESHARK, 2024) mostra um exemplo de pacote ROUTE contendo a SLS. Foi usado o *software Wireshark* (WIRESHARK, 2024) na parte de cima da figura, enquanto que na parte inferior da mesma, está a análise parcial do pacote ROUTE, mostrando alguns campos dele. Os *bytes* destacados em azul correspondem ao ROUTE.

Figura 3.9. Pacote ROUTE contendo a SLS.



Fonte: Autoria própria, usando Wireshark (2024) e um analisador próprio.

3.3.6. Instâncias de sinalização

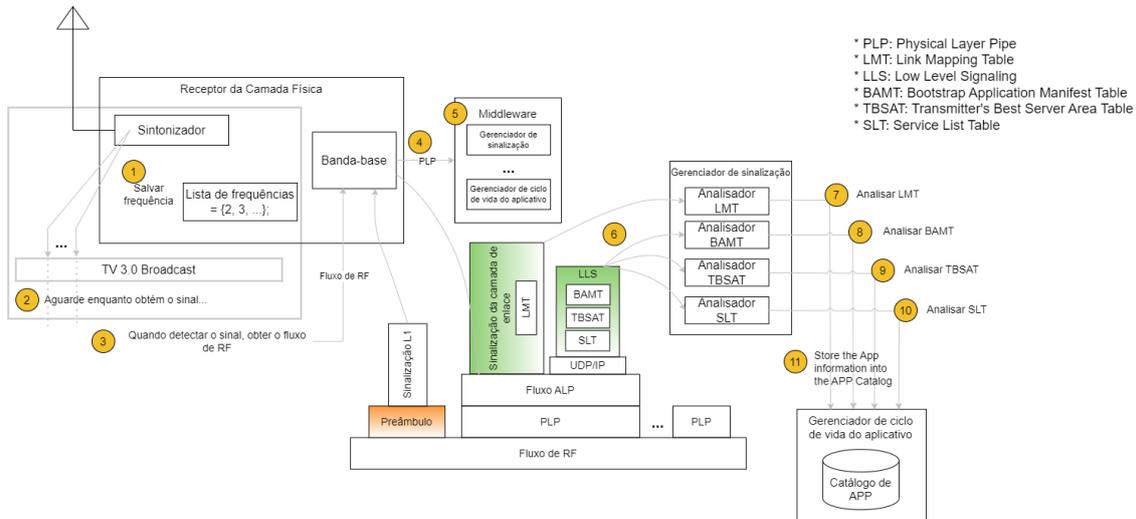
Este item aborda alguns tipos de instâncias de sinalização e explica em detalhes como é o funcionamento da sintonia rápida de serviços ROUTE.

O processo de sintonia rápida de serviços é descrito no documento ABNT NBR 26602 e é mostrado na Figura 3.10 (ABNT, 2024b). Os receptores TV 3.0 podem utilizar o LMT da sinalização da camada de enlace e o SLT, o BAMT e o TBSAT do LLS para efetuar a pesquisa rápida de serviços.

O processo de sintonia rápida de serviços é realizado na seguinte ordem:

1. O sintonizador realiza uma varredura de canais, utilizando uma lista de frequências predefinida;
2. Para cada frequência, o sintonizador determina se o sinal está presente;
3. Ao detetar um sinal numa determinada frequência, o processador de banda base extrai o sinal L1 do preâmbulo;
4. O processador de banda base envia o PLP que contém a sinalização da camada de enlace e o LLS para o *middleware*, que os extrai dos dados do PLP;

Figura 3.10. Fluxo de sinalização da sintonia rápida de serviços.



Fonte: Adaptado e traduzido de ABNT (2024b).

5. O *middleware* contém módulos funcionais, como um gestor de sinalização, um gestor do ciclo de vida da aplicação e outras partes. Depois de receber os dados PLP que contêm sinalização da camada de enlace e LLS do processador de banda base, o *middleware* transmite-os aos módulos funcionais que gerenciam qualquer tipo de dados como, por exemplo, sinalização, áudio, vídeo e legendas, e controla a entrega dos dados ao analisador e à cache interna adequados;
6. O módulo de *middleware* extrai o LMT da sinalização da camada de enlace e passa o LMT para o analisador LMT. O módulo de *middleware* extrai a BAMA, a TBSAT e a SLT da LLS por LLS_table_id que tem, respetivamente, os valores “0xXX” (a ser definido), “0xYY” (a ser definido) e “0x01”. O módulo de *middleware* passa o SLT ao analisador SLT;
7. O analisador LMT extrai as informações que serão utilizadas no catálogo de aplicativos (por exemplo, PLPID, informações sobre a sessão [endereço IP e número da porta]);
8. O analisador BAMA extrai suas informações, como pode ser visto na norma ABNT NBR 26608 (ABNT, 2024h);
9. O analisador TBSAT extrai suas informações, como pode ser visto na norma ABNT NBR 26608 (ABNT, 2024h);
10. O analisador SLT analisa o SLT e extrai as informações essenciais para a produção do catálogo de aplicativos como, por exemplo, ID do serviço, nome curto do serviço e informações de sinalização SLS do radiodifusor;
11. As informações são armazenadas no catálogo de aplicativos.

3.4. Camada Física

Esta seção aborda a tecnologia da camada física adotada na TV 3.0. Inicialmente é apresentado o diagrama de blocos do sistema e um breve detalhamento de cada sub-bloco que compõe o sistema. No final, são apresentados casos de uso e resultados de desempenho para vários MODCODs.

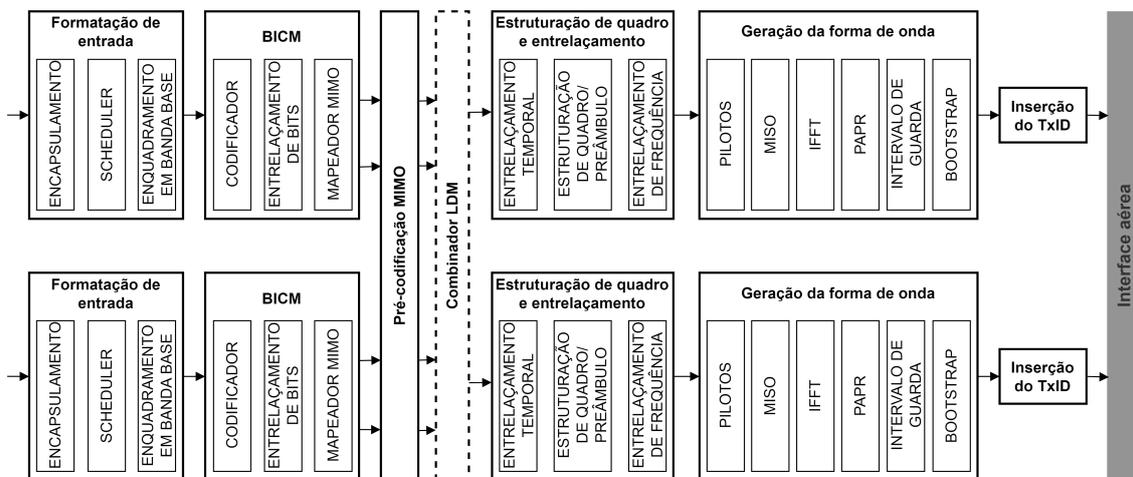
3.4.1. ATSC 3.0

O ATSC foi constituído no ano de 1983 para coordenar o desenvolvimento de normas técnicas nacionais para modelos avançados de TV. O comitê foi organizado em três grupos técnicos, que buscavam avanços no sistema *National Television System(s) Committee* (NTSC), a utilização de tecnologia de TV de alta definição, entre outros (HOPKINS, 1986).

O principal objetivo do projeto do ATSC 3.0 foi o desenvolvimento da camada física, entretanto, também forneceu, por meio de sua norma, informações sobre transmissão e recepção, protocolos utilizados, códigos corretores de erros, entre outros. A especificação da camada física do sistema foi preparada pelo ATSC e pelo Grupo Especialista na camada física (TG3). Os participantes do comitê, no início do desenvolvimento, começaram o processo de normatização da camada física, selecionando as tecnologias e técnicas de estado da arte naquele momento (FAY et al., 2016).

A arquitetura do ATSC 3.0 com extensão para MIMO é dividida em sete estágios, sendo eles: a Formatação de entrada, o *Bit-Interleaved Coded Modulation* (BICM), a Pré-codificação MIMO, o Combinador LDM, a etapa de Estruturação de quadro e entrelaçamento, a Geração da forma de onda e o TxID, como especifica a norma ATSC A/322 (ATSC, 2024b). Essa arquitetura é mostrada na Figura 3.11 (ATSC, 2024b). Vale ressaltar que o Combinador LDM somente é utilizado quando o LDM é configurado.

Figura 3.11. Arquitetura do ATSC 3.0 com extensão para MIMO.

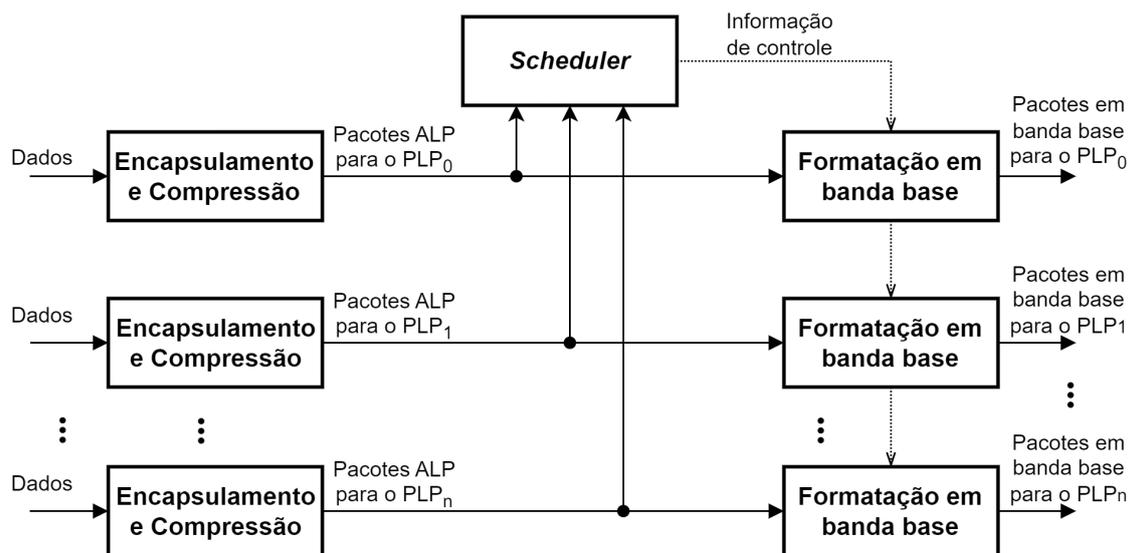


Fonte: (ATSC, 2024b).

3.4.2. Formatação de entrada

A formatação de entrada consiste em três blocos principais, são eles: o encapsulamento dos pacotes no formato ALP e compactação do cabeçalho IP, a sinalização da camada de enlace e a geração de pacotes em banda base. O encapsulamento e compressão realizam o interfaceamento entre a camada de transporte e física e é especificado no documento ATSC A/330 (ATSC, 2024d). Em um canal de RF é possível transmitir de 1 até 64 PLPs simultaneamente. Entretanto, no máximo 4 PLPs são decodificados simultaneamente no receptor. Os pacotes ALP gerados neste estágio são direcionados para o *scheduler*, que insere as sinalizações de controle, de acordo com a norma ATSC A/324 (ATSC, 2024c). Na sequência, o bloco de formatação de banda base cria um ou mais PLPs de acordo com a configuração do *scheduler*. Na saída do bloco de formatação de banda base, cada PLP consiste em um único fluxo de pacotes de banda base, como definido em ATSC A/324 (ATSC, 2024c). A Figura 3.12 (ATSC, 2024b) mostra o diagrama de blocos com os estágios que compõem a formatação de entrada.

Figura 3.12. Formatação de entrada do ATSC 3.0.



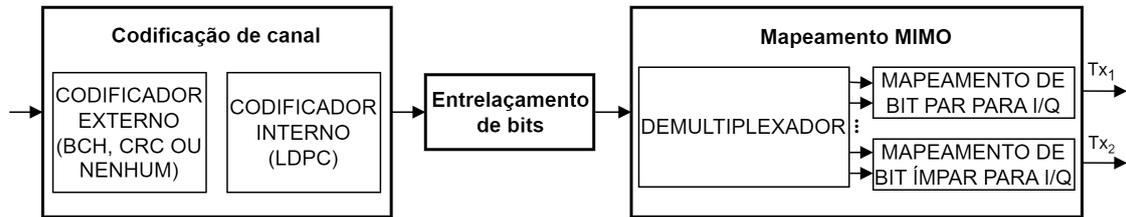
Fonte: (ATSC, 2024b).

3.4.3. BICM

O BICM é dividido em três partes, sendo elas: a Codificação de canal, o Entrelaçamento de *bits* e o Mapeamento MIMO, conforme é mostrado na Figura 3.13 da norma ATSC A/322 (ATSC, 2024b).

O estágio de codificação de canal é responsável pela correção de erros. Este processo consiste na codificação da informação útil por meio da codificação externa e interna. São utilizados os códigos *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem* (BCH) e o *Low-Density Parity Check* (LDPC) como codificadores externo e interno, respectivamente, com dois comprimentos da palavra código (16200 e 64800 *bits*) e doze *Code Rates* (CRs) (de 15/02 até 13/15), conforme definido em ATSC A/322 (ATSC, 2024b).

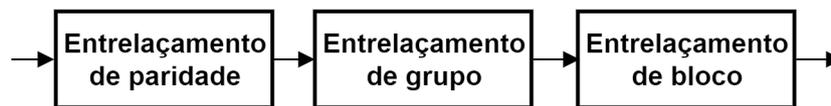
Figura 3.13. Etapas do BICM.



Fonte: (ATSC, 2024b).

Após as mensagens serem codificadas, as palavras código são enviadas para o Entrelaçador, que realiza o entrelaçamento de paridade, de grupo e de blocos, como é mostrado na Figura 3.14, que se baseia no documento ATSC A/322 (ATSC, 2024b).

Figura 3.14. Entrelaçador do sistema ATSC 3.0.



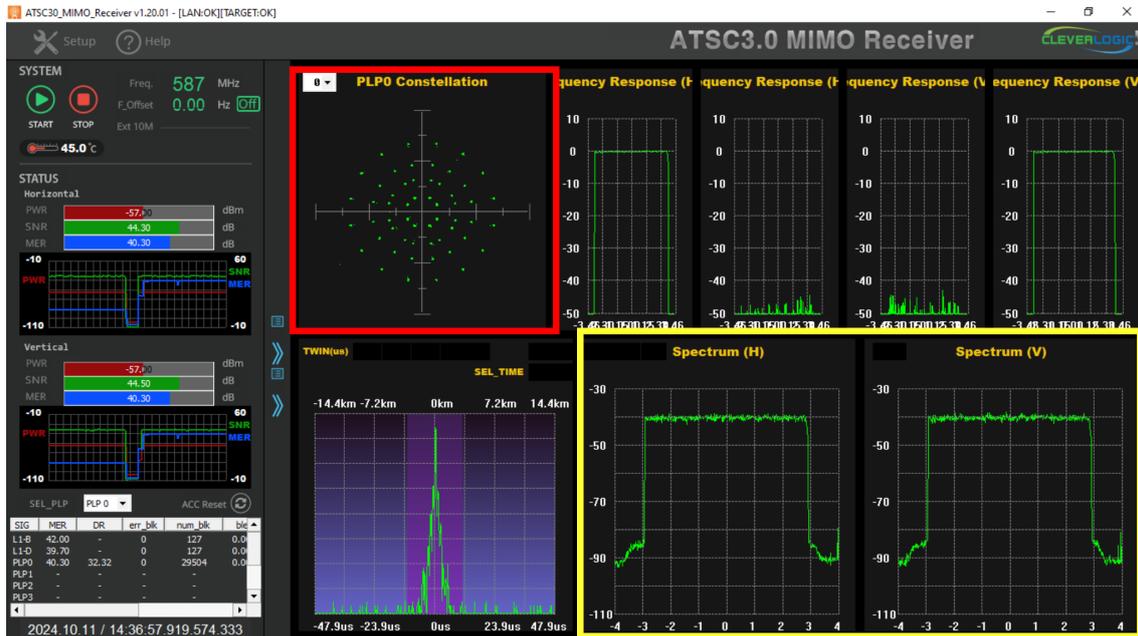
Fonte: (ATSC, 2024b).

Por fim, o último estágio mostrado na Figura 3.13 (ATSC, 2024b), é o mapeador MIMO, que tem a função de receber os *bits* vindos da etapa de entrelaçamento, separá-los entre *bits* pares e ímpares e realizar o mapeamento em símbolos *In-Phase/Quadrature* (I/Q) para as Polarizações 1 e 2 (Tx₁ e Tx₂). O mapeamento pode ser realizado em seis ordens de modulação: (*Quadrature Phase Shift Keying Modulation* (QPSK), *16-Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM e 4096-QAM). Com exceção do QPSK, as constelações podem ser configuradas para não uniformes, do inglês *Non-Uniform Constellations* (NUCs), dependendo do CR do LDPC. Um exemplo de constelação 64-QAM NUC do ATSC 3.0 é exibido na Figura 3.15.

As Figuras 3.15 e 3.16 foram geradas durante os testes de laboratório realizados pela equipe do LABTVD e fazendo uso dos equipamentos enviados pelo proponente da tecnologia ATSC 3.0, em parceria com a empresa *Cleverlogic* e o centro de pesquisas do *Electronics and Telecommunications Research Institute* (ETRI).

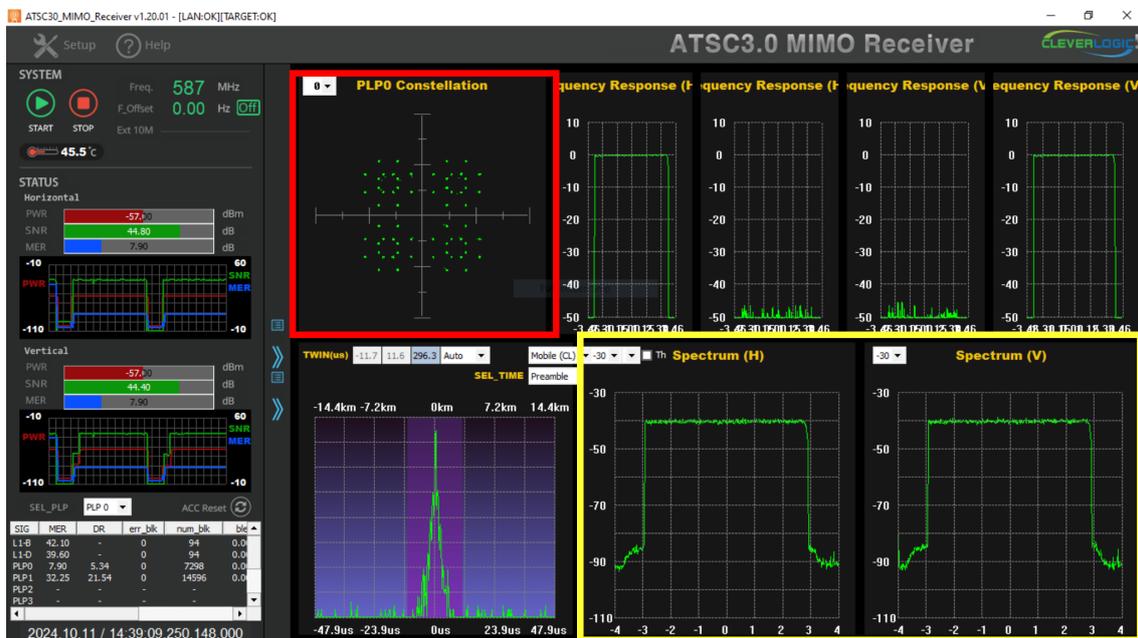
Os destaques em vermelho mostram as constelações 64-QAM (para a Figura 3.15) e LDM (para a Figura 3.16). Já os destaques em amarelo simbolizam os espectros das polarizações vertical e horizontal, para ambas as figuras.

Figura 3.15. Constelação 64-QAM NUC do sistema ATSC 3.0.



Fonte: Autoria própria, usando os equipamentos da *Cleverlogic / ETRI*.

Figura 3.16. Constelação LDM do sistema ATSC 3.0.



Fonte: Autoria própria, usando os equipamentos da *Cleverlogic / ETRI*.

Por fim, as constelações são enviadas para o estágio de pré-codificação MIMO.

3.4.4. Pré-Codificação MIMO

Após o BICM, os PLPs são conectados na pré-codificação MIMO que atua em um par de símbolos de constelação de entrada (X_{2i}, X_{2i+1}), onde i é o índice do par de células dentro do bloco *Forward Error Correction* (FEC), e cria um par de símbolos de constelação de saída, conforme ilustrado na Figura 3.17 (ATSC, 2024b), que foi baseada no documento ATSC A/322. Pares de células codificados (S_{2i}, S_{2i+1}) devem ser transmitidos no mesmo símbolo *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) e portadora da antena transmissora da Polarização 1 (Tx_1) e da antena transmissora da Polarização 2 (Tx_2), respectivamente. A pré-codificação MIMO nunca é aplicada aos *bootstraps* ou aos Pré-âmbulos, apenas aos sub-quadros de símbolos de dados.

A pré-codificação MIMO é baseada na multiplexação espacial e consiste em três etapas diferentes, conforme representado na Figura 3.17.



Fonte: (ATSC, 2024b).

A primeira etapa consiste em uma combinação do par de símbolos de constelação de entrada com base em uma matriz de rotação com ângulo θ . O valor do ângulo de rotação é fixo e seu valor depende da modulação e codificação usadas no PLP.

O segundo estágio é o de entrelaçamento de polarização I/Q, que compreende uma operação de chaveamento, de modo que as células de saída possuam uma componente *In-Phase* (I) de um símbolo de entrada e uma componente *Quadrature* (Q) do outro símbolo de entrada.

Já a etapa de rotação de fase é realizada com o objetivo de deslocar a fase dos símbolos da segunda polarização (Tx_2).

3.4.5. Combinação LDM

A saída do pré-codificador MIMO pode ou não, seguir para a etapa de multiplexação. Caso seja habilitada a multiplexação, o método utilizado é o LDM. A técnica de LDM surgiu do conceito de transmissão na nuvem (*Cloud Transmission* (Cloud Txn)) e demonstrou que não há a necessidade de se utilizar diferentes frequências na transmissão. Com o método de LDM é possível transmitir em até duas camadas com diferentes conteúdos ao mesmo tempo e na mesma frequência, já que os sinais são transmitidos em camadas com níveis de potência diferentes (WU et al., 2012).

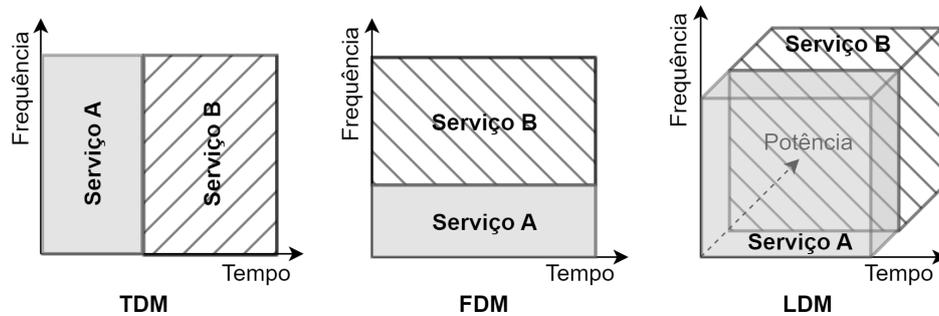
O LDM é uma técnica de multiplexação não ortogonal, do inglês *Non-Orthogonal Multiplexing* (NOM), baseada em uma tecnologia de sobreposição. Em contraste com os esquemas tradicionais de multiplexação, como o TDM e o FDM, o LDM utiliza 100% da largura de banda do canal de RF e 100% dos recursos de tempo, para transmitir os

sinais com múltiplas camadas, acarretando numa eficiência espectral elevada (PARK et al., 2016).

É possível alocar diferentes serviços de radiodifusão em um canal de RF, empregando as técnicas de TDM e FDM. No entanto, tais esquemas não usam 100% do tempo ou da largura de banda para transmitir serviços diferentes, ou seja, eles não exploram totalmente a capacidade do canal, pois escalam linearmente o tempo de transmissão ou a largura de banda. Por outro lado, o LDM usa tecnologia de sobreposição de espectro para acomodar diferentes serviços em um único canal de RF (PARK et al., 2016).

A Figura 3.18 (PARK et al., 2016; RABAÇA, 2022) mostra uma comparação entre as técnicas de TDM, FDM e de LDM.

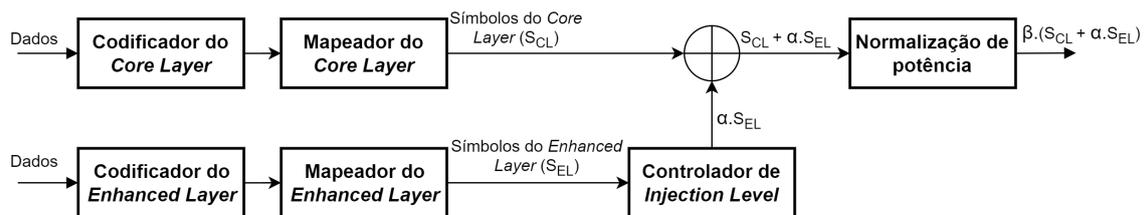
Figura 3.18. Comparação entre as técnicas de TDM, FDM e de LDM.



Fonte: Modificado e trad. de Park et al. (2016), Rabaça (2022).

Para realizar o processo de multiplexação dos sinais de diferentes serviços, por meio da técnica LDM, são necessários dois estágios de mapeamento e codificação separados (um para cada camada) e também é preciso atenuar o sinal do *Enhanced Layer* (EL) (fator α) antes de somá-los. Após a combinação, o sinal resultante é normalizado (para ajustar a potência elevada do sinal gerado pela soma do *Core Layer* (CL) com o EL), por meio da multiplicação do sinal por um fator β , como mostra a Figura 3.19 (ATSC, 2024b; RABAÇA, 2022).

Figura 3.19. Multiplexação em camadas usando LDM.

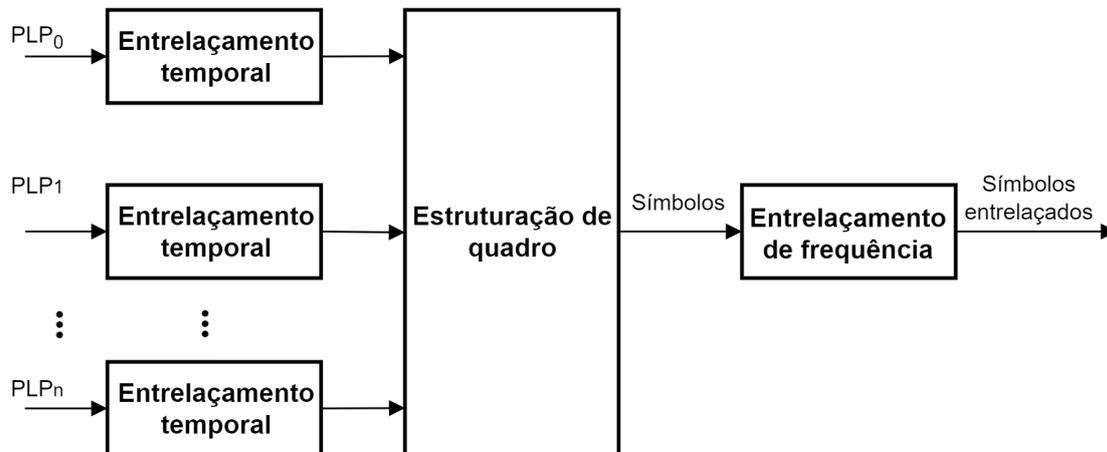


Fonte: Modificado e trad. de ATSC (2024b), Rabaça (2022).

3.4.6. Estruturação de quadro e entrelaçamento

Após a etapa de multiplexação, a informação chega ao estágio de entrelaçamento e construção do quadro. Neste estágio podem ser executados os entrelaçamentos no tempo e na frequência, bem como é realizada a estruturação do quadro OFDM, como exibe a Figura 3.20 (ATSC, 2024b), que se baseou no documento ATSC A/322. Os mesmos entrelaçadores no tempo devem ser usados para MIMO. Como o entrelaçamento no tempo é realizado após a geração de dois fluxos MIMO, há dois entrelaçadores de tempo paralelos. O entrelaçamento no tempo é aplicado a ambos os fluxos MIMO e devem ser idênticos.

Figura 3.20. Entrelaçamento e Estruturação de quadro do ATSC 3.0.



Fonte: Modificado e traduzido de (ATSC, 2024b).

O estruturador de quadro exibido na Figura 3.20 (ATSC, 2024b), recebe um ou mais PLPs e gera símbolos de quadro, que representam um conteúdo no domínio da frequência. Um quadro possui três componentes básicos, o *bootstrap*, que contém sinais de controle, o preâmbulo e um ou mais sub-quadros (ATSC, 2024b). As técnicas de multiplexação específicas permitidas para MIMO devem ser as seguintes:

- Multiplexação por divisão de tempo (TDM), conforme descrito;
- Multiplexação por divisão de frequência (FDM);
- Multiplexação por divisão de tempo e frequência (*Time and Frequency Division Multiplexing* (TFDM));
- Multiplexação entre PLPs MIMO e *Single-Input Single-Output* (SISO), como: TDM entre PLPs MIMO e SISO e LDM de PLPs MIMO e SISO.

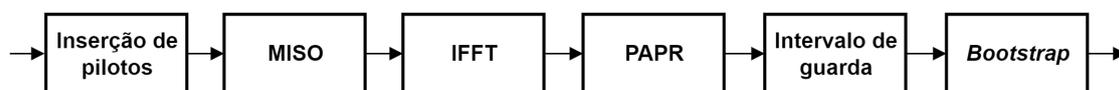
3.4.7. Geração da forma de onda

O último estágio exibido na Figura 3.11 (ATSC, 2024b) é o de geração da forma de onda, onde são executados os processos de inserção de pilotos, técnica *Multiple-Input Single-Output* (MISO), *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) de três tamanhos, técnica

de redução de potência de pico para a média (*Peak-to-Average-Power-Ratio* (PAPR)), inserção do Intervalo de Guarda (IG) com 12 razões e, por fim, a anexação do *bootstrap* no quadro (ATSC, 2024b; FAY et al., 2016). A Figura 3.21 (ATSC, 2024b) mostra as etapas da geração da forma de onda.

O *bootstrap* é definido no Documento ATSC A/321 (ATSC, 2024a) e é inserido no início de cada quadro OFDM. O *bootstrap* transmite a sinalização de controle que permite a descoberta de sinal, o sincronismo grosseiro, o desvio frequência e a estimação inicial do canal. Os parâmetros de modulação do *bootstrap* são fixos (taxa de amostragem, largura de banda, tamanho da *Fast Fourier Transform* (FFT) e comprimento do símbolo) o que facilita a busca de novos canais.

Figura 3.21. Geração da forma de onda do ATSC 3.0.



Fonte: (ATSC, 2024b; DIONÍSIO, 2017).

As mesmas estruturas OFDM devem ser usadas para cada fluxo de Polarização na transmissão MIMO. Como o MIMO introduz um caminho de transmissão extra quando comparado com uma configuração SISO, a expressão de forma de onda para MIMO deve conter os dois modos:

- MIMO Tipo A: Quadro MIMO puro consistindo somente de sub-quadros MIMO;
- MIMO Tipo B: Coexistência de sub-quadros MIMO e SISO com base em TDM.

3.4.8. TxID

O TxID permite identificar de forma exclusiva cada transmissor e pode usar o mesmo ou diferente txid_address em cada polarização. O TxID é somado ao sinal OFDM por meio do *Injection Level* (IL) que funciona como uma marca d'água no sinal de RF. A identificação é obtida identificando a marca d'água no sinal de RF, que permite o monitoramento, medições do sistema, determinação da fonte de interferência, geolocalização e outras aplicações.

3.5. Testes

Os testes de laboratório foram realizados dentro de uma gaiola de *Faraday* para evitar interferência de RF externa. Nesse ambiente, a temperatura e a umidade também são controladas. O critério *Quasi Error Free* (QEF) adotado foi um *Frame Error Rate* (FER) de 10^{-4} após o decodificador LDPC, e a fonte de dados usada foi uma sequência *Pseudo-Random Binary Sequence* (PRBS).

O contexto dos testes da Fase 3 do projeto TV 3.0 envolveu o Reuso-1 de frequência e a transmissão de conteúdo em UHD. Portanto, as configurações MIMO de camada única testadas foram: QPSK (*Uniform Constellation* (UC)) com baixas taxas de FEC, para

maior robustez e utilização de Reuso-1 (Config. 1 e 3), e 256-QAM (usando NUC), para atingir valores mais elevados de taxa de *bits* (Config. 8, 9 e 10) (FÓRUM SBTVD, 2023b; RABAÇA et al., 2024).

A Tabela 3.1 mostra as configurações de camada única usadas durante os testes de laboratório da Fase 3 (FÓRUM SBTVD, 2023b; RABAÇA et al., 2024).

Tabela 3.1. MODCODs de camada única 2 × 2 MIMO usados na Fase 3

| Parâmetro | Config. 1 | Config. 3 | Config. 8 | Config. 9 | Config. 10 |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Largura de banda | 6 MHz | | | | |
| Largura de banda útil | 5.831 MHz | | | | |
| MODCOD | QPSK | | 256-QAM | | |
| Constelação | UC | | NUC | | |
| Correção de erros | LDPC 64800 + BCH | | | | |
| FEC | 3/15 | 4/15 | 11/15 | 10/15 | 8/15 |
| Tamanho da IFFT | 16K | | | | |
| Duração do IG | 4_768 (111 μ s) | | | | |
| Padrão de pilotos | MP8_2 | | | | |
| Codificação das pilotos | Walsh Hadamard (WP) | | | | |
| Símbolos OFDM | 98 | | | | |
| Time Interleaver (TI) | CTI_1024 | | | | |
| Taxa de <i>bits</i> (Mbps) | 4,00 | 5,34 | 57,08 | 51,86 | 41,44 |
| C/N simulado (dB) | -4,02 | -2,63 | 19,07 | 17,48 | 14,27 |

Alguns parâmetros são compartilhados entre todas as configurações, como a largura de banda do canal de 6 MHz, a largura de banda útil de 5,831 MHz, a técnica de correção de erros usando códigos LDPC e BCH, o tamanho da IFFT de 16K, o IG de 111 μ s, o padrão pilotos com $D_x = 8$ e $D_y = 2$, a codificação das pilotos usando WP, o uso de 98 símbolos OFDM e o TI usando 1024 amostras. A última linha da Tabela 3.1 mostra os valores de *Carrier-to-Noise Ratio* (C/N) simulados para cada configuração testada, considerando um canal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) (ATSC, 2023).

Considerando a taxa de *bits* máxima de aproximadamente 38 Mbps, que deve ser usada na TV 3.0, foram escolhidas novas combinações de MODCODs. A Config. 11 permite a transmissão de um conteúdo 1080p 60 Hz (*Full High Definition* (FHD)) + três conteúdos 720p (HD) (30,9 Mbps) ou um conteúdo 2160p (4K UHD) + dois conteúdos 720p (HD) (31,4 Mbps). A configuração 12 permite a transmissão de dois conteúdos 2160p (4K UHD) ((33,9 Mbps)). Por fim, a Config. 13 permite a transmissão de conteúdo 4360p (8K UHD) (37,3 Mbps) (RABAÇA et al., 2024). A Tabela 3.2 mostra os novos MODCODs de camada única e sua última linha indica os valores C/N simulados para cada configuração testada, considerando um canal AWGN (ATSC, 2023; RABAÇA et al., 2024).

O teste de C/N - Potência da portadora x AWGN foi realizado com configurações

Tabela 3.2. Novos MODCODs de camada única 2×2 MIMO

| Parâmetro | Config. 11 | Config. 12 | Config. 13 |
|----------------------------|---------------------|------------|------------|
| Largura de banda | 6 MHz | | |
| Largura de banda útil | 5,831 MHz | | |
| MODCOD | 64-QAM | | |
| Constelação | NUC | | |
| Correção de erros | LDPC 64800 + BCH | | |
| FEC | 8/15 | 9/15 | 10/15 |
| Tamanho da IFFT | 16K | | |
| Duração do IG | 4_768 (111 μ s) | | |
| Padrão de pilotos | MP8_2 | | |
| Codificação das pilotos | WP | | |
| Símbolos OFDM | 98 | | |
| TI | CTI_1024 | | |
| Taxa de <i>bits</i> (Mbps) | 32,2 | 36,3 | 40,3 |
| C/N simulado (dB) | 10,68 | 11,87 | 13,17 |

MIMO (com um fator de polarização cruzada fixo de 25 dB) no canal UHF 33 e níveis de potência de entrada no receptor do sistema de -28, -53, -68 e -83 dBm (FÓRUM SBTVD, 2023b; RABAÇA et al., 2024).

Os testes foram realizados com base no documento de procedimento de teste para a Fase 2 da TV 3.0 (Brazilian Digital Terrestrial TV System Forum, 2021).

Os resultados obtidos durante os testes laboratoriais da Fase 3 com as configurações 1, 3, 8, 9 e 10 são mostrados na Tabela 3.3 (FÓRUM SBTVD, 2023b; RABAÇA et al., 2024).

Tabela 3.3. C/N - Configs. 1, 3, 8, 9 e 10

| Canal 33 | Resultados | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | C/N (dB) | | | |
| | C = - 28 dBm | C = - 53 dBm | C = - 68 dBm | C = - 83 dBm |
| Config. 1 | - 2,8 | - 2,8 | - 2,8 | - 2,7 |
| Config. 3 | - 1,6 | - 1,6 | - 1,6 | - 1,6 |
| Config. 8 | 20,4 | 20,4 | 20,5 | 28,8 |
| Config. 9 | 18,9 | 18,9 | 19 | 24 |
| Config. 10 | 15,8 | 15,8 | 15,9 | 18 |

Os resultados obtidos durante os testes de laboratório com as configurações 11, 12 e 13 são mostrados na Tabela 3.4 (RABAÇA et al., 2024).

Tabela 3.4. C/N - Configs. 11, 12 e 13.

| Canal 33 | Resultados | | | |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | C/N (dB) | | | |
| | C = - 28 dBm | C = - 53 dBm | C = - 68 dBm | C = - 83 dBm |
| Config. 11 | 11,7 | 11,7 | 11,7 | 12,2 |
| Config. 12 | 13,3 | 13,2 | 13,2 | 13,8 |
| Config. 13 | 14,4 | 14,4 | 14,3 | 15,1 |

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 3.3 (FÓRUM SBTVD, 2023b; RABAÇA et al., 2024) e na Tabela 3.4 (RABAÇA et al., 2024), pode-se observar que é possível transmitir conteúdo em 4360p (8K UHD) ou várias outras combinações de transmissão com múltiplos conteúdos, usando modulações mais robustas do que as testadas anteriormente durante a Fase 3 (RABAÇA et al., 2024).

Durante a Fase 3 da TV 3.0 também foram testados MODCODs que utilizam a técnica de LDM (FÓRUM SBTVD, 2023b). Porém, todas as configurações testadas na época objetivavam um CL robusto, variando entre 4 e 6 Mbps, e um EL com maior capacidade de transmissão, ou seja, com taxas variando entre 10 e 20 Mbps. Naquele instante, o desejo era de que o CL permitisse o Reuso-1 e o EL permitisse a transmissão de conteúdo em 4K UHD.

Da mesma forma que aconteceu com as configurações de camada única, também foram idealizados novos MODCODs de camada dupla, que utilizam LDM. A Tabela 3.5 exhibe esses novos MODCODs.

Tabela 3.5. Novos MODCODs de camada dupla 2 × 2 MIMO.

| Parâmetro | Config. 14 | | Config. 15 | |
|-------------------------|-------------------|------|------------|------|
| | CL | EL | CL | EL |
| Camada | CL | EL | CL | EL |
| Largura de banda | 6 MHz | | | |
| Largura de banda útil | 5.831 MHz | | | |
| MODCOD | 16-QAM | QPSK | 16-QAM | QPSK |
| Constelação | NUC | UC | NUC | UC |
| Correção de erros | LDPC 64800 + BCH | | | |
| FEC | 8/15 | | 4/15 | 8/15 |
| Injection Level | 12 dB | | 8 dB | |
| Tamanho da IFFT | 16K | | | |
| Duração do IG | 768/16384 (111us) | | | |
| Padrão de pilotos | MP8_2 | | | |
| Codificação das pilotos | NP | | | |
| Símbolos OFDM | 98 | | | |
| TI | 1024 | | | |
| Bit rate (Mbps) | 21,5 | 10,8 | 10,7 | 10,8 |

Os resultados obtidos durante os testes de laboratório com as configurações 14 e 15 são mostrados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. C/N - Configs. 14 e 15.

| Canal 33 | Resultados | | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| | C/N (dB) | | | | | | | |
| | C = - 28 dBm | | C = - 53 dBm | | C = - 68 dBm | | C = - 83 dBm | |
| CL | EL | CL | EL | CL | EL | CL | EL | |
| Config. 14 | 10,6 | 15,3 | 10,5 | 15,4 | 10,7 | 15,4 | 11,2 | 17,5 |
| Config. 15 | 5,3 | 11,9 | 5,2 | 11,8 | 5,2 | 12,3 | 5,4 | 12,6 |

As configurações com duas camadas supramencionadas foram escolhidas devido ao fato de possibilitarem a transmissão de um conteúdo principal em 4K UHD no CL e permitirem a transmissão de um conteúdo regional no EL. Sendo assim, esses novos MODCODs viabilizam a segmentação geográfica, que é uma das novas características da TV 3.0.

3.6. Conclusão

A TV 3.0 utiliza tecnologias do estado da arte em todas as camadas que compõem o sistema. Na camada de transporte o ROUTE / DASH do ATSC 3.0 foi definido com adaptações e extensões para a TV 3.0, permitindo a integração do OTA e *Over-the-top* (OTT). O Fórum SBTVD-T recomendou a interface aérea da camada física do ATSC 3.0 com extensões para o MIMO combinando o LDM para maximizar a eficiência espectral e energética, e com a ferramenta TxID para permitir a segmentação geográfica de conteúdo

e alertas de emergência.

Referências

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/327:2023-06 - ATSC Recommended Practice: Guidelines for the Physical Layer Protocol*. Washington, D.C, June 2023.

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/321:2024-04 - System Discovery and Signaling*. Washington, D.C, April 2024.

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/322:2024-09 - Physical Layer Protocol*. Washington, D.C, March 2024.

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/324:2024-04 - Scheduler / Studio to Transmitter Link*. Washington, D.C, April 2024.

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/330:2024-04 - Link-Layer Protocol*. Washington, D.C, April 2024.

ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE. *A/331:2024-04 - Signaling, Delivery, Synchronization, and Error Protection*. Washington, D.C, April 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25601: TV 3.0 - Over-the-Air Physical Layer (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25602: TV 3.0 - Transport Layer (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25603: TV 3.0 - Video coding (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25604: TV 3.0 - Audio coding (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25605: TV 3.0 - Closed captioning (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25606: TV 3.0 - Closed signing (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25607: TV 3.0 - Emergency warning system (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25608: TV 3.0 - Application coding (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 25609: TV 3.0 - Receivers (A ser publicada)*. Rio de Janeiro, 2024.

BRASIL. Decreto nº 11.484, de 6 de abril de 2023. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2023. Dispõe sobre as diretrizes para a evolução do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre e para garantir a disponibilidade de espectro de radiofrequências para a sua implantação. Disponível em: <[https://www-planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11484.ht](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11484.ht)>. Acesso em: 02 out. 2024.

Brazilian Digital Terrestrial TV System Forum. *CfP Phase 2 / Testing and Evaluation: TV 3.0 Project*. [S.l.], March 2021. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2021/03/SBTVD-TV_3_0-P2_TE_2021-03-15.pdf>. Acesso em: 31 dec. 2023.

DASH INDUSTRY FORUM. *Guidelines for Implementation: DASH-IF Interoperability Point for ATSC 3.0*. [S.l.], 2018.

DIGITAL BROADCASTING EXPERTS GROUP. *Introduction of "ISDB-T"*. [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://www.dibeg.org/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

DIONÍSIO, V. M. *Modulador do sistema ATSC 3.0 usando Gnuradio Companion*. 78 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, 2017.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. *ETSI TS 103 285 V1.3.1 (2020-02) - Digital Video Broadcasting (DVB); MPEG-DASH Profile for Transport of ISO BMFF Based DVB Services over IP Based Networks*. Sophia Antipolis, FRANCE, Fev. 2022.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception: Etsi ts 136 101 v17.7.0 (2023-01)*. 650 Route des Lucioles, F-06921 Sophia Antipolis Cedex - France, January 2023. 1651 p. Disponível em: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/17.07.00_60/ts_136101v170700p.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

FAY, L. et al. An overview of the atsc 3.0 physical layer specification. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 62, n. 1, p. 159–171, March 2016. ISSN 0018-9316.

FÓRUM SBTVD. *TV 3.0 Project*. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/>. Acesso em: 22 out. 2023.

FÓRUM SBTVD. *TV 3.0 Project - Phase 3 - Over-the-air Physical Layer Laboratory Tests*. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2023-11/SBTVD-TV_3_0-P3-PL-Lab-Report.pdf>. Acesso em: 28 dec. 2023.

FÓRUM SBTVD. *TV 3.0 Project - Phase 3 - Over-the-air Physical Layer Field Tests*. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/wp-content/uploads/2024/07-/SBTVD-TV_3_0-P3-PL-Field-Report.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.

HOPKINS, R. Advanced television systems. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, CE-32, n. 2, p. xi–xvi, May 1986. ISSN 0098-3063.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *23009-1:2022 - Information technology — Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) Part 1: Media presentation description and segment format*. [S.l.], 2022.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *RFC 1952 - GZIP file format specification version 4.3*. [S.l.], 1996.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *RFC 6726 - FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport*. [S.l.], 2012.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *RFC 5651 - Layered Coding Transport (LCT) Building Block*. [S.l.], 2020.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *RFC 9223 - Real-Time Transport Object Delivery over Unidirectional Transport (ROUTE)*. [S.l.], 2022.

JEON, S. et al. Field trial results for atsc 3.0 txid transmission and detection in single frequency network of seoul. In: *2018 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–4. ISSN 2155-5052.

KAUFFMANN, B. *Arquitetura de referência ATSC 3.0 em nuvem pública*. 88 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, 2024.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES/GABINETE DO MINISTRO. *Portaria MCOM N° 11476*. 2023. Online. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcom-n-11476-de-8-de-dezembro-de-2023-529259203>>.

MIYASAKA, H. et al. A study on the scattered pilot pattern of mobile reception for an advanced isdb-t. In: *2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–4.

PARK, S. et al. Performance analysis of all modulation and code combinations in atsc 3.0 physical layer protocol. *IEEE Transactions on Broadcasting*, p. 1–14, 2018. ISSN 0018-9316.

PARK, S. I. et al. Low complexity layered division multiplexing for atsc 3.0. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 62, n. 1, p. 233–243, 2016.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *DECRETO N° 5.820, DE 29 DE JUNHO DE 2006*. 2006. Online. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006-/2006/decreto/d5820.htm6>. Acesso em: 22 set. 2023.

RABAÇA, R. S. *Proposta de um sistema de televisão digital retrocompatível com o ISDB-Tb utilizando LDM*. 149 p. Tese (Doutorado) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, 2022.

RABAÇA, R. S. et al. Evaluation of atsc 3.0 modcods for tv 3.0. In: *2024 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–5.

SENATORI, N. O. B.; SUKYS, F. *Como preparar trabalhos para cursos de pós-Introdução à televisão e ao sistema PAL-M*. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.

SET, ABERT, UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE. *Brazil Digital TV Report*. Sao Paulo, SP, Brasil, 2000. Disponível em: <http://meusite.mackenzie.com.br/cristiano/dtv/brazil_digital_tv_report.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2024.

SODAGAR, I. The mpeg-dash standard for multimedia streaming over the internet. *IEEE MultiMedia*, v. 18, n. 4, p. 62–67, 2011.

SONG, J. et al. Key technologies and measurements for dtmb-a system. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 65, n. 1, p. 53–64, 2019.

VALEIRA, G. de M. *TV 3.0 MUX*. 2024. Apresentação oral com uso de slides no Congresso do SET EXPO 2024.

WIRESHARK FOUNDATION. *Wireshark - Go Deep*. 2024. Online. Disponível em: <<https://www.wireshark.org/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

WU, Y. et al. Overview of digital television development worldwide. *Proceedings of the IEEE*, v. 94, n. 1, p. 8–21, Jan 2006. ISSN 0018-9219.

WU, Y. et al. Cloud transmission: A new spectrum-reuse friendly digital terrestrial broadcasting transmission system. *IEEE Transactions on Broadcasting*, v. 58, n. 3, p. 329–337, Sept 2012. ISSN 0018-9316.

Bio

Boris Kauffmann possui graduação Engenharia Elétrica com ênfase em em Telecomunicações pela Universidade Presbiteriana Mackenzie no Brasil e mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Presbiteriana Mackenzie, pesquisando sobre a camada de transporte do novo Sistema Brasileiro de Televisão Digital (TV 3.0). Arquiteto de Soluções de Mídia e Entretenimento na *Amazon Web Services*, especializado em *broadcast* e transporte de vídeo. Possui mais de 15 anos na indústria de mídia, trabalhando em posições de tecnologia em transmissão, pós-produção e preservação de mídia digital. Antes da *Amazon Web Services*, era responsável pelo *design* e arquitetura de diversos sistemas de roteamento de vídeo baseado em Protocolo de Internet, como Engenheiro de Soluções na *Imagine Communications*. Implementou diversos sistemas de *playout*, *master-control* e roteamento em radiodifusores da América Latina. Anteriormente, atuou como Técnico de Laboratório na Cinemateca Brasileira, supervisionando fluxos de trabalho de migração e restauração para filmes e fitas de vídeo em formato legado.



Cristiano Akamine possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1999), mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2004/2011). É Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 2 e pesquisador do Laboratório de TV digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e MackGraphe - Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias. Realizou estágio no *NHK Science and Technology Research Laboratories* (STRL) e foi professor Especialista Visitante na Faculdade de Tecnologia da Unicamp. Atualmente é professor no curso de Engenharia Elétrica e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) da Universidade Presbiteriana Mackenzie e coordenador do Laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. É membro do conselho deliberativo do Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre (SBTVD), Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET) e Editor associado do *IEEE Transactions on Broadcasting*. Possui várias patentes e diversos artigos publicados e tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em TV digital, comunicação digital, codificação de canal, sistemas embarcados, lógica reconfigurável e rádio definido por *software*.



George Henrique Maranhão Garcia de Oliveira é graduado e mestre pela Universidade Presbiteriana Mackenzie em 2015 e 2017, respectivamente, onde atualmente é aluno de doutorado, com previsão de conclusão em 2024. Ingressou no Laboratório de Pesquisa em TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie como engenheiro em 2016 e, desde então, tem trabalhado em projetos que envolvem a implementação de soluções para sistemas de TV digital terrestre e via satélite. Os seus interesses de pesquisa centram-se na camada física e de transporte de sistemas de TV digital terrestre e rádio definido por *software*. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase no setor de radiodifusão, em medidas elétricas, magnéticas e eletrônicas, além de possuir prática com instrumentação.



Gustavo de Melo Valeira é formado em Engenharia Elétrica - Eletrônica em Dezembro/2007 pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica - Telecomunicações na Universidade Presbiteriana Mackenzie em Junho/2010. Ingressou no Doutorado em Engenharia Elétrica - Telecomunicações na Universidade Presbiteriana Mackenzie em 2011 e concluiu em Agosto/2015. Trabalhou como pesquisador/engenheiro no Laboratório de Pesquisas em Televisão Digital (LPTVD) da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie até Agosto/2015 e atualmente é Professor da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie com dedicação também às atividades do LPTVD. Áreas de interesse e de pesquisa: Televisão digital; processamento digital de sinais; sistemas de comunicação; camada de transporte do ISDB-Tb (*Transport Stream - TS*) e das novas gerações de TV digital (o *MPEG Media Transport - MMT*; e o *Real-time Object delivery over Unidirectional Transport / Dynamic Adaptive Streaming over HTTP - ROUTE/DASH*); redes; sistemas embarcados; e as linguagens de programação C/C++, VHDL e *Python*.



Ricardo Seriacopi Rabaça possui graduação em Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2013), mestrado em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2017) e doutorado em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2022). Atualmente é Engenheiro Eletrônico e participa de projetos realizados pelo Laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem participado da publicação nacional e internacional de artigos na área de telecomunicações e radiodifusão, abordando temas como técnicas de diversidade aplicadas à televisão digital, implementação de sistemas de transmissão utilizando novos métodos de codificação, modulação e multiplexação, entre outros. Além disso, participou como pesquisador das Camadas Física e de Transporte do projeto TV 3.0. Seus campos de estudo são telecomunicações, radiodifusão e rádio definido por *software*.

