



INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA – IFPB
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
COORDENAÇÃO DO CURSO DE BACHARELADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

ISABELY SAMARA S. DE MATOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DA TRANSMISSÃO EM RF ENTRE O
SISTEMA DE TV DIGITAL (ISDB-TB) E A TV 3.0**

JOÃO PESSOA – PB

2026

ISABELY SAMARA S. DE MATOS

**ANÁLISE COMPARATIVA DA TRANSMISSÃO EM RF ENTRE O
SISTEMA DE TV DIGITAL (ISDB-TB) E A TV 3.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, no Instituto Federal da Paraíba – IFPB, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

JOÃO PESSOA – PB

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *Campus* João Pessoa

M433a Matos, Isabely Samara Simão de.

Análise comparativa da transmissão em RF entre o sistema de TV digital (ISDB-TB) e a TV 3.0 / Isabely Samara Simão de Matos. - 2026.

40 f. : il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2026.

Orientação: Prof^o. Dr. Jefferson Costa e Silva.

1.ISDB-tb. 2. TV digital no Brasil. 3. TV 3.0. 4. Transmissão em rádio frequência. I. Título.

CDU 621.391:004 (81) (043)

ANÁLISE COMPARATIVA DA TRANSMISSÃO RF ENTRE O SISTEMA DE TV DIGITAL (ISDB-TB) E A TV 3.0

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, no Instituto Federal da Paraíba – IFPB, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho Aprovado em 05 de Fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

JEFFERSON COSTA E SILVA

Data: 20/02/2026 12:12:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jefferson Costa (Orientador)
Instituto Federal da Paraíba – IFPB



Documento assinado digitalmente

ALFREDO GOMES NETO

Data: 20/02/2026 19:47:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alfredo Gomes
Instituto Federal da Paraíba – IFPB



Documento assinado digitalmente

JOABSON NOGUEIRA DE CARVALHO

Data: 20/02/2026 14:54:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Joabson Nogueira
Instituto Federal da Paraíba – IFPB

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, em especial à minha mãe Josélia Simão, e à minha irmã Ingrid Matos por todo apoio incondicional ao longo desses cinco anos. O suporte financeiro e emocional de vocês fez toda a diferença nessa trajetória. Sem esse amparo, eu não teria chegado tão longe.

Agradeço à minha noiva, Rebbeca Hellen, por todo o companheirismo, paciência e incentivo, dando-me forças quando mais precisei e sendo, muitas das vezes, o motivo para que eu não desistisse. Serei eternamente grata por isso.

Agradeço aos amigos que conheci durante o curso e me ajudaram a passar por toda a jornada, como Igor Forcelli, Vinícius Wanderley e Adelson Ataíde. Os conselhos, apoio, conversas, as trocas de conhecimentos e a amizade de vocês foram fundamentais para a conclusão do curso.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial (PET), representado pela professora Suzete Élide Correia. A minha participação no programa proporcionou experiências que ampliou minha bagagem acadêmica, fortaleceu o compromisso com a extensão e a pesquisa, contribuindo de forma significativa na minha trajetória como profissional na Engenharia Elétrica.

Agradeço de forma especial à professora Suzete, por todo o apoio, incentivo e por toda confiança em mim depositada ao longo da minha trajetória na instituição. Sua dedicação, competência e postura profissional é inspiração para todos, especialmente para as mulheres, pela representatividade que exerce.

Por fim, agradeço ao Jefferson Costa e Silva, pela atenção e dedicação como orientador. O senhor é um exemplo de pessoa e profissional; seu amor pela educação inspira e torna o processo de busca pelo conhecimento mais leve, significativo e motivador.

RESUMO

No Brasil, a televisão digital terrestre adota o padrão ISDB-Tb, proporcionando avanços tecnológicos consideráveis em comparação com a televisão analógica, principalmente no que se refere à qualidade da imagem, áudio e a transmissão do sinal. A televisão chegou no Brasil em 1950, inicialmente em preto e branco, com as várias evoluções tecnológicas, incluindo a implantação da TV Digital em 2006. Com essa mudança, o sistema de transmissão apresentou uma melhoria significativa na qualidade de recepção e permitiu a alta definição no país, sem comprometer o modelo de negócio originalmente estabelecido, que visava oferecer TV gratuita para todos de maneira simultânea. Com o surgimento de novas demandas tecnológicas e a publicação do projeto da TV 3.0 pelo Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), em 2020, culminou-se no desenvolvimento e implementação de uma terceira geração da televisão aberta no país. A terceira geração propõe transformações relevantes na camada de transmissão em radiofrequência (RF), incorporando técnicas mais avançadas de modulação e codificação, além de adotar uma arquitetura orientada a dados. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa da camada de transmissão em RF entre o sistema de TV digital atualmente em operação e a TV 3.0, buscando evidenciar as principais diferenças técnicas e os benefícios proporcionados pela nova geração da televisão digital.

Palavras-chave: ISDB-Tb, TV Digital no Brasil; TV 3.0; Transmissão em Radiofrequência.

ABSTRACT

In Brazil, digital terrestrial television adopts the ISDB-Tb standard, providing considerable technological advances compared to analog television, especially about image quality, audio and signal transmission. Television was introduced in Brazil in 1950, initially in black and white, and underwent several technological evolutions, including the implementation of Digital Television in 2006. This transition resulted in a significant improvement in reception quality and enabled high-definition broadcasting in the country, without compromising the originally established business model, which aimed to provide free-to-air television to the entire population simultaneously. Driven by emerging technological demands and the publication of the TV 3.0 project by the Brazilian Digital Television System Forum (SBTVD) in 2020, the development and implementation of a third generation of free-to-air television in Brazil began. This new generation proposes relevant transformations in the radio frequency (RF) transmission layer, incorporating more advanced modulation and coding techniques, as well as adopting a data-oriented architecture. In this context, this work aims to perform a comparative analysis of the RF transmission layer between the digital TV system currently in operation and TV 3.0, highlighting the main technical differences and the benefits provided by this new generation of digital television.

Keywords: ISDB-Tb; Digital Television in Brazil; TV 3.0; Radio Frequency Transmission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro de subportadoras ortogonais no OFDM.	5
Figura 2: Diagrama em blocos do transmissor OFDM.....	6
Figura 3: Cenário de propagação em radiodifusão	7
Figura 4: Diagrama de bloco do sistema de transmissão	9
Figura 5: Organização dos segmentos.....	10
Figura 6: Diagrama de blocos do sistema ISDB-Tb	11
Figura 7: Diagrama simplificado do modulador.	13
Figura 8: Diagrama do estágio de codificação do canal	13
Figura 9: Sistema de transmissão ISDB-Tb	14
Figura 10: Modelo atual da TV Digital 2.5.	15
Figura 11: Evolução das gerações da televisão no Brasil.....	17
Figura 12: Arquitetura geral do sistema de transmissão da TV 3.0.	18
Figura 13: Organização do sinal transmitido na camada física da TV 3.0.	19
Figura 14: Cadeia de modulação e codificação	20
Figura 15: Comparação de transmissão do sistema ISDB-Tb e a proposta da TV 3.0. 3.0.	21
Figura 16: Diagrama de arquitetura técnica de uma estação de transmissão TV 3.0 com integração IP	22
Figura 17: Comparação entre o ATSC 3.0 e o ISDB-Tb utilizando modulação 64-QAM.....	23
Figura 18: Comparação da eficiência espectral entre os sistemas ISDB-Tb e TV 3.0.....	24
Figura 19: Parâmetros técnicos das configurações de transmissão avaliadas nos testes de camada física da TV 3.0.....	25
Figura 20: Constelação e MER do canal 33 (587 MHz) para transmissão em dupla camada (LDM) no sistema TV 3.0.	26
Figura 21: Máscara espectral de potência do sinal de TV Digital	27
Figura 22: Comparação dos padrões ISDB-Tb e a TV 3.0.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ISDB-Tb	<i>Integrated Services Digital Broadcast – Terrestrial (Brazilian variant)</i>
RF	<i>Radiofrequência (Radio Frequency)</i>
SBTVD	<i>Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ISI	<i>Interferência Inter-Simbólica (Inter Symbol Interference)</i>
VHF	<i>Frequência muito alta (Very High Frequency)</i>
UHF	<i>Ultra Alta Frequência (Ultra High Frequency)</i>
ISDB-T	<i>Integrated Servives Digital Broadcasting – Terrestrial</i>
BTS	<i>Transmissão Segmentada em Banda (Band Segmented Transmission)</i>
HDR	<i>High Dynamic Range</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. FUNDAMENTOS DE TRANSMISSÃO EM TV DIGITAL	13
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL	13
2.2 TRANSMISSÃO EM RF	13
2.3 MODULAÇÃO OFDM	14
2.4 MULTIPERCURSO, INTERFERÊNCIA E MOBILIDADE	17
3. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA TV DIGITAL	19
3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA ISDB-Tb	19
3.2 CAMADA FÍSICA	21
3.3 MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO	22
3.4 LIMITAÇÕES DO SISTEMA ATUAL	24
4. SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA TV 3.0	26
4.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA	27
4.2 ARQUITETURA GERAL	28
4.3 CAMADA FÍSICA	29
4.4 MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO	30
5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ISDB-Tb E TV 3.0	31
5.1 DIFERENÇAS NA MODULAÇÃO	32
5.2 DIFERENÇAS NA CODIFICAÇÃO DO CANAL	33
5.3 EFICIÊNCIA ESPECTRAL	34
5.4 RESULTADOS DE TESTES PRÁTICOS	35
5.5 MELHORIAS DO SISTEMA	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Como qualquer mídia ou veículo de comunicação, a televisão (TV) também está envolvida num constante processo de evolução e adaptação às novas necessidades sociais. Desde o primeiro canal de TV, a BBC de Londres, fundada em 1936, a televisão já passou por várias mudanças. Além da cor, que a deixou muito mais atraente ainda na década de 1950, também aumentou o número de canais, originando as primeiras escolhas do telespectador (MONTEZ; BECKER, 2005).

A Televisão digital é considerada o início de uma nova era na relação emissoras- telespectadores/mídia, uma revolução nas maneiras de se fazer e se ver TV. Isso porque as diferenças deste novo sistema – quando comparado ao tradicional, analógico – são diversas, perceptíveis e inovadoras (GOBBI; KERBAUY, 2010).

O início da TV no Brasil foi marcado pela empresa TV Tupi, em 1950, no estado de São Paulo, primeira emissora de televisão da América Latina. Apesar das limitações tecnológicas, a televisão se estabeleceu como um veículo de comunicação em massa, ampliando o alcance e impactando as gerações seguintes (DOMINGUES, 2017).

Décadas depois, com o país focado na modernização, realizou-se a primeira transmissão de TV Digital, em 2007, na cidade de São Paulo. Esse evento marcou o início da implementação do SBTVD, fundamentado no padrão ISDB-Tb, por conta da robustez do sinal, da acessibilidade e da interatividade que oferece aos usuários, bem como a transmissão de sinal de TV para dispositivos móveis (SET, 2017).

Com a televisão digital implementada no Brasil, o país adotou o padrão ISDB-Tb baseando-se na transmissão terrestre, proporcionando assim melhorias significativas na robustez do sinal, na qualidade de áudio, imagem e possibilidade de recepção por dispositivos móveis. Portanto, com o avanço tecnológico surgiram demandas que precisavam de maior eficiência espectral e integração com serviços baseado em dados. Atualmente o sistema em operação ainda apresenta limitações com relação às demandas da modernidade, como a dificuldade em suportar transmissões em ultra-alta definição (4K e 8K) e múltiplos serviços simultâneos dentro da mesma largura de banda do canal de radiofrequência. Além disso, a baixa flexibilidade para aplicações interativas avançadas, evidencia a necessidade de evoluir padrão.

Diante desse processo de evolução tecnológica, surge a TV 3.0 como a nova geração da televisão aberta brasileira, criada no âmbito do Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital. O novo sistema propõe mudanças na arquitetura, principalmente na camada de transmissão em radiofrequência (RF). A nova geração incorpora métodos de

2
modulação e codificação mais avançados, além de uma estrutura orientada a dados, com o objetivo de aumentar a flexibilidade, eficiência e a qualidade na transmissão do sinal.

Este trabalho irá analisar, sob a perspectiva da Engenharia Elétrica, as diferenças técnicas entre os sistema de transmissão que estão em uso atualmente e a TV 3.0, enfatizando as principais alterações implementadas na camada física e seus efeitos na eficiência espectral, na robustez do sinal e na qualidade da recepção.

2 FUNDAMENTOS DE TRANSMISSÃO EM TV DIGITAL

Este capítulo descreve conceitos fundamentais de comunicação digital e radiofrequência, essenciais para entender como funcionam os sistemas de *broadcast* atualmente. Nesta seção, são apresentados os principais conceitos teóricos relacionados à transmissão RF, modulação OFDM e os impactos do canal de programação, oferecendo a base necessária para a análise comparativa entre o sistema ISDB-Tb e a TV 3.0.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE COMUNICAÇÃO DIGITAL

A comunicação digital consiste na transferência de informações discretas (bits) de uma fonte para um ou mais destinos através de um canal físico. Diferente do sistema analógico, a comunicação digital utiliza técnicas de codificação e modulação que garantem maior robustez contra ruídos e interferências, permitindo uma reconstrução total do sinal no receptor (LATHI, 2012).

O sistema de comunicação digital é constituído por uma fonte de informação, um transmissor, um canal de comunicação e um receptor. No transmissor, antes do sinal ser enviado ele é codificado e modulado, podendo existir ruído, interferências e distorções do sinal. No receptor, o sinal recebido passa pelo processo de demodulação e decodificação, com o objetivo de recuperar a informação original com a mínima quantidade de erros. A eficiência desses processos é necessária para garantir a qualidade do serviço em sistemas de radiodifusão, pois a televisão digital demanda alta confiabilidade na transmissão.

A evolução dos sistemas de comunicação digital tem como foco o aumento da eficiência espectral, que define a capacidade de transmitir a maior quantidade de informação dentro de uma largura de banda restrita. O ISDB-Tb, emprega um sistema de codificação fixo para serviços determinados, enquanto que as novas arquiteturas de transmissão, representadas pela TV 3.0, introduzem tecnologias mais flexíveis e densas. Com essa evolução, é realizado o transporte de dados em ultra-definição e a integração com os protocolos de internet, transformando o sinal de rádio em um fluxo de informações dinâmico e adaptável às condições do canal.

2.2 TRANSMISSÃO EM RF

O objetivo de um sistema de comunicação digital é transmitir sinais através de um canal físico com uma taxa de erro aceitável, utilizando recursos de potência e largura de banda de forma eficiente. No transmissor, a modulação é o processo que mapeia a sequência de bits em sinais de radiofrequência para que estes possam ser irradiados

(SKLAR, 2001).

A transmissão em radiofrequência (RF) consiste no processo de envio de sinais eletromagnéticos pelo espaço livre, usando faixas do espectro eletromagnético que foram regulamentadas anteriormente. Nos sistemas de radiodifusão de televisão, nessa etapa são transportados sinais modulados de áudio, vídeo e dados, garantindo ampla cobertura. De acordo com Sklar (2001), a eficácia desse transporte depende da capacidade do sistema de adaptar o sinal digital às limitações físicas do canal, como o ruído e a interferência.

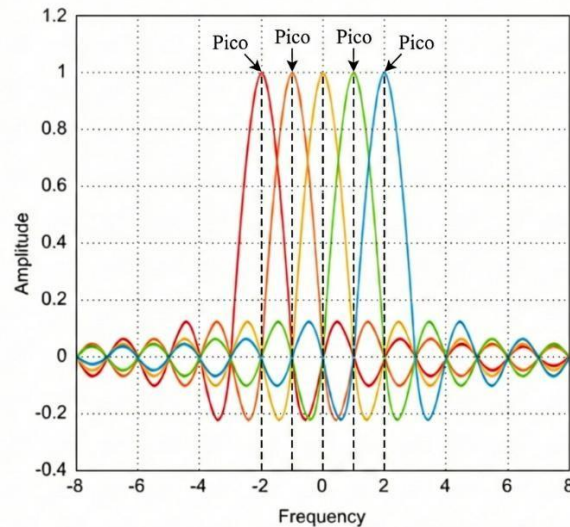
Entretanto, no contexto de televisão digital a transmissão em RF tem como principal desafio equilibrar três pilares críticos: robustez do sinal, eficiência espectral e confiabilidade do sinal entregue. Ao contrário dos sistemas de comunicação via cabo, o sinal irradiado pelo espaço livre pode sofrer alguns fenômenos, tais como desvanecimento e a interferência de multipercurso. Neste último caso, diversas versões do mesmo sinal chegam ao receptor em momentos diferentes por conta das reflexões em obstáculos físicos. Para garantir a estabilidade da recepção do sinal transmitido são utilizados métodos de correção de erros e intervalos de guarda para reduzir as degradações.

2.3 MODULAÇÃO OFDM

A modulação OFDM, ou multiplexação por divisão de frequências ortogonais é uma técnica de modulação de dados que devido às suas diversas características, é apropriada à tecnologia de rádios cognitivos. No processo OFDM a transmissão de dados utiliza sua banda dividida em múltiplas portadoras ortogonais, chamadas subportadoras, para modulação. As subportadoras são chamadas ortogonais por não possuírem sobreposição de frequência, dessa forma não interferindo uma com as outras (COUTINHO, 2008).

A eficiência espectral é uma das principais vantagens da ortogonalidade entre as subportadoras, possibilitando que elas sejam colocadas próximas no espectro sem a necessidade de amplas bandas de guarda entre elas (YATEBTS, s.d). A Figura 1 ilustra o conceito, demonstrando como os sinais são sobrepostos sem que haja interferência mútua.

Figura 1: Espectro de subportadoras ortogonais no OFDM.



Fonte: Adaptado de YateBTS([s.d.]).

A análise da Figura 1 evidencia matematicamente o conceito de ortogonalidade. Nela, observa-se que o pico de energia de cada subportadora coincide precisamente com os pontos nulos das subportadoras adjacentes. Essa propriedade é fundamental, pois assegura que o sistema recupere a informação de cada portadora de forma individual, resultando na maximização da eficiência do espectro disponível.

Além da eficiência espectral, essa arquitetura é fundamental para combater o fenômeno de multipercurso na transmissão de TV Digital terrestre. Ao dividir o fluxo de dados de alta taxa em centenas de fluxos paralelos mais lentos, o tempo de símbolo de cada subportadora aumenta, diminuindo a sensibilidade do sistema a ecos e distorções temporais causadas por reflexões em obstáculos físicos, garantido a robustez do sinal.

O sinal OFDM é expresso matematicamente como uma soma de múltiplas subportadoras ortogonais no domínio do tempo. O processamento do sinal OFDM, possui componentes fundamentais que é necessário definir. A informação é transmitida bit a bit, mas agrupada em símbolos, que representam conjuntos de bits modulados em amplitude e fase. Os símbolos trafegam em uma única via, mas são distribuídos entre as subportadoras, que são frequências estreitas e independentes operando em paralelo.

Sendo assim, para que as múltiplas frequências possam ser transmitidas fisicamente pela antena, elas precisam ser convertidas em uma única onda contínua no tempo. Neste momento que atua a IFFT (Transformada Rápida de Fourier Inversa), ela realiza a transformação matemática das subportadoras organizadas no domínio da frequência para o domínio do tempo, resultando em um sinal composto obtido ao somar todas as ondas individuais em um único sinal de radiofrequência pronto para a transmissão.

Segundo The MathWorks (2024), os dados são primeiramente codificados e modulados, geralmente em símbolos QAM. Nesta etapa, esses símbolos são distribuídos em subportadoras de frequência paralelas e igualmente espaçadas. Na sequência, a IFFT é aplicada para processar o conjunto espectral, sendo expressa matematicamente pela equação:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{i \frac{2\pi x n}{N}} \quad (1)$$

A equação demonstra que o sinal OFDM é composto pela soma de N subportadoras moduladas $X(k)$, espalhadas no espectro e combinadas de forma ortogonal em um único símbolo no tempo. Um prefixo cíclico é então adicionado a cada símbolo OFDM, permitindo um cálculo da convolução circular por meio de uma convolução linear, desde que o prefixo tenha pelo menos o mesmo comprimento da resposta ao impulso do canal (THE MATHWORKS, 2024). FIGURA

No processo de geração de um símbolo OFDM muitas etapas são necessárias no transmissor, iniciando na codificação dos dados e finalizando no prefixo cíclico. A partir dessas etapas é garantida a ortogonalidade entre as subportadoras e a robustez do sistema frente aos efeitos do canal. A Figura 2 ilustra o diagrama em blocos simplificados o transmissor OFDM.

Figura 2: Diagrama em blocos do transmissor OFDM.



Fonte: Adaptado de The MathWorks(2024).

Na Figura 2, os dados de entrada (iniciando na esquerda) são submetidos a dois processos: codificação e modulação. No segundo bloco o fluxo de dados é convertido de serial para paralelo, dessa forma permitindo a alocação dos símbolos nas diferentes subportadoras do sistema OFDM.

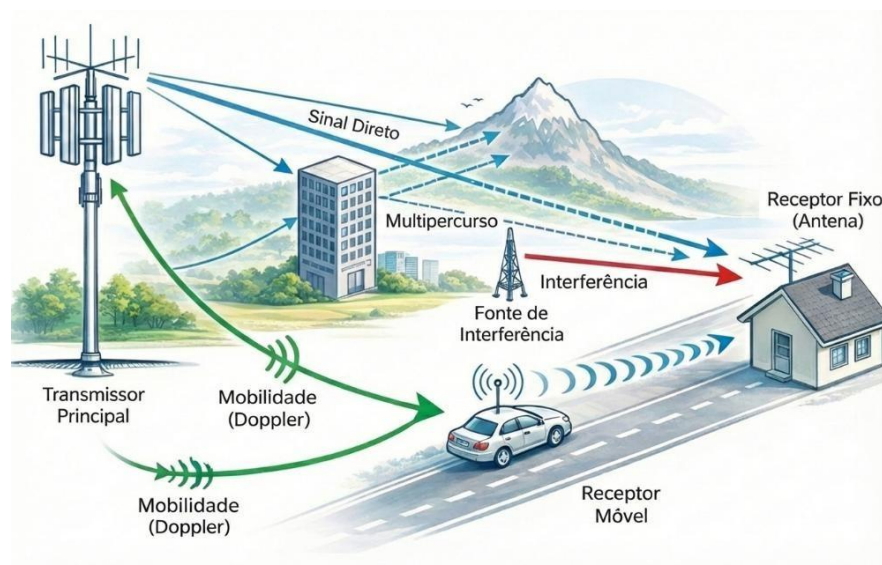
A IFFT é aplicada com o objetivo de converter os símbolos que estão no domínio da frequência para o domínio do tempo, gerando um sinal com múltiplas subportadoras ortogonais. Ao finalizar esta etapa, o sinal é convertido em formato serial e é adicionado o prefixo cíclico, com a função de mitigar os efeitos do multipercurso e evitar interferência intersimbólica no receptor (THE MATHWORKS,2024).

A modulação OFDM é notável por sua elevada eficiência espectral e por sua robustez contra a interferência intersimbólica – distorção gerada pelo atraso de sinais refletidos – e contra o desvanecimento seletivo em frequência, existente em cenários de propagação adversas. Com essas características a técnica OFDM é essencial para os padrões contemporâneos de televisão digital, sendo diretamente influenciada por outros fenômenos, como por exemplo: multipercuso, interferência e mobilidade, os quais serão discutidos na seção seguinte.

2.4 MULTIPERCUSO, INTERFERÊNCIA E MOBILIDADE

De acordo com Proakis e Salehi (2008), o projeto de sistemas de comunicação digital deve considerar que os mesmos estão invariavelmente sujeitos aos efeitos degradantes do canal de propagação. Em sistemas de radiodifusão terrestre, fenômenos como multipercuso, as interferências e os impactos associados à mobilidade dos receptores tornam-se fatores críticos, exigindo soluções que garantam a integridade dos dados sob condições adversas de propagação. Para ilustrar esse cenário, a Figura 3 apresenta esquematicamente como esses três fenômenos atuam simultaneamente no ambiente de transmissão.

Figura 3: Cenário de propagação em radiodifusão.



Fonte: Elaborada pelo autor com auxílio de IA (2026).

A propagação por multipercuso ocorre quando o sinal transmitido chega à antena receptora por dois ou mais caminhos com diferentes atrasos temporais. Isso resulta em interferência destrutiva ou construtiva no sinal recebido, causando o fenômeno conhecido como desvanecimento (fading), que é uma das principais limitações para a transmissão de alta velocidade em canais sem fio (COUCH, 2013).

A interferência acontece por sinais de outras fontes que utilizam a mesma frequência ou podem ser causadas por ruídos introduzidos no canal. Segundo Lathi (2019), ao contrário do ruído térmico, que se origina da agitação térmica aleatória dos portadores de carga (elétrons) nos componentes eletrônicos, a interferência tem origem externa e estruturada. No contexto da transmissão digital em canais dispersivos, a forma mais crítica de perturbação é a Interferência Intersimbólica (ISI), consistindo no espalhamento temporal de um pulso fazendo com que ele se sobreponha aos pulsos adjacentes, comprometendo, dessa forma, a capacidade do receptor de distinguir corretamente os bits que são transmitidos.

A mobilidade traz variações rápidas no canal de comunicação por causa do efeito Doppler, principalmente em receptores que estão em movimento, como por exemplo os televisores instalados nos veículos ou os que estão em aparelho portátil. De acordo com (SKLAR, 2001), essas variações fazem o canal depender do tempo, exigindo o uso de técnicas de modulação e codificação mais robustas e adaptáveis para assegurar a continuidade do serviço.

3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA TV DIGITAL

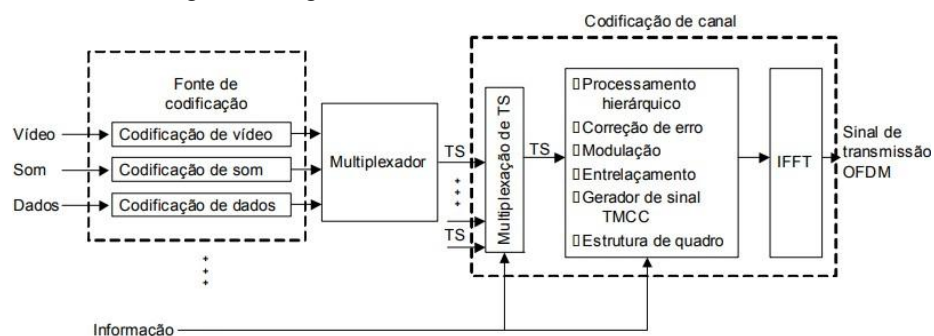
O sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T), conhecido comercialmente como ISDB-Tb, foi desenvolvido com o objetivo de substituir o então modelo de TV analógico e teve seu início de operação no Brasil em 2007. Baseado no padrão japonês ISDB-T, na versão brasileira houve melhorias significativas, melhor qualidade de áudio e vídeo, robustez na transmissão do sinal e, por possibilitar mobilidade e portabilidade, com essas características é possível atender a realidade geográfica do país.

As normas técnicas da ABNT governam este padrão, com a NBR 15601 sendo a norma principal para os aspectos relacionados aos sistemas de transmissão. O ISDB-Tb possui técnicas avançadas de modulação, codificação de canal e multiplexação, possibilitando a transmissão simultânea de serviços. Além disso, opera em canais de 6 MHz nas faixas de VHF e UHF, facilitando a transição do sistema analógico para o digital e a implementação da alta definição. A seguir, são destacados os principais aspectos da arquitetura do sistema ISDB-Tb, com ênfase na camada física e suas limitações.

3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA ISDB-Tb

A arquitetura do sistema ISDB-Tb é composta por um conjunto de blocos funcionais que são responsáveis pelo processamento do sinal desde a geração até a recepção pelo usuário final. O sistema diferencia-se dos demais padrões de TV Digital mundial pela flexibilidade e capacidade de transmissão segmentada. O sistema utiliza a técnica de modulação como BST-OFDM (*Band Segmented Transmission – Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que consiste na divisão da banda do canal de radiofrequência em 13 blocos de frequência, que são denominados segmentos OFDM.

Figura 4: Diagrama de bloco do sistema de transmissão.



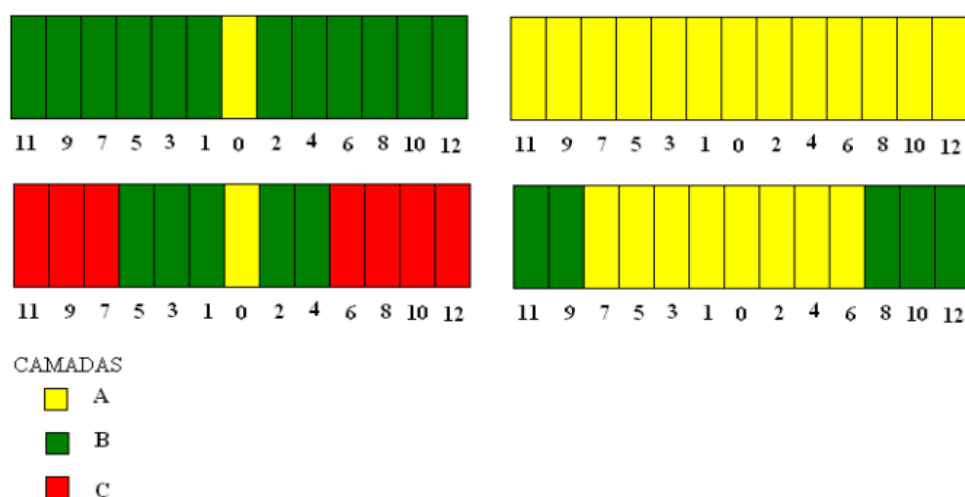
Fonte: NBR 15601 (2007).

No diagrama da Figura 4 são representadas as etapas de processamento do sinal no transmissor ISDB-Tb. O fluxo de dados é iniciado com a codificação da fonte, onde, nesta etapa, os sinais de vídeo, áudio e dados são comprimidos e encapsulados. No Brasil, o padrão adotado para a codificação de vídeo foi MPEG-4 AVC (H.264) e de áudio MPEG-4 HE-AAC, que ao ser comparado com os codecs do padrão original japonês, oferecem maior eficiência.

De acordo com a ABNT NBR 15601 (2007), a segmentação constitui a base para a flexibilidade do sistema, de forma a permitir um agrupamento lógico dos segmentos em até três camadas distintas (A,B,C), que se diferenciam principalmente em termos de robustez à propagação e capacidade de transmissão de dados. Na camada A é configurada para maior robustez, sendo mais apropriada para a recepção móvel e portátil, mas a taxa de dados é menor. Na camada C, prioriza-se uma maior capacidade de transmissão, destinada para a recepção fixa, ao custo de menor robustez frente a interferência e efeitos do canal. A camada B apresenta características intermediárias entre as camadas A e C e pode ser utilizada para a alocação de serviços específicos que demandam um compromisso entre a robustez e taxa de dados, como uma aplicação auxiliar, entendida como serviços complementares à programação principal.

Cada camada é configurada com parâmetros de codificação próprios, garantindo que o sistema atenda, de forma simultânea, os requisitos de robustez e capacidade de dados.

Figura 5: Organização dos segmentos.



Fonte: Menezes (2013).

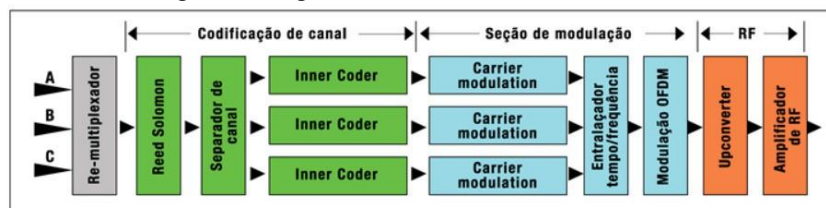
Na Figura 5, a flexibilidade na alocação de serviços ISDB-Tb é visualmente representada e demonstra diferentes possibilidades de agrupamento dos 13 segmentos OFDM. As cores presentes na ilustração (amarelo, vermelho e verde) diferenciam as camadas hierárquicas, A, B e C, evidenciando que o espectro pode ser fracionado. No segmento central o nº 0 possui uma posição estratégica, comumente sendo utilizado pela camada A para os serviços de transmissão móvel robusta. Os demais segmentos (1 a 12) podem ter combinações variadas para compor as camadas B e C, permitindo uma transmissão uniforme de alta definição (ocupando todos os segmentos) até configurações híbridas complexas com três níveis de robustez.

3.2 CAMADA FÍSICA

A camada física do sistema ISDB-Tb é responsável por processar e transmitir o sinal digital pelo meio radioelétrico, estabelecendo os parâmetros de modulação, codificação, segmentação e a largura de banda do canal. Conforme apresentado no item 2.4, o ambiente de transmissão terrestre é hostil. Como forma de garantir a integridade do sinal na recepção, a camada física implementa mecanismos robustos de proteção contra erros antes da etapa final da modulação.

Como principal estratégia para realizar a transmissão do sinal são adotadas técnicas avançadas de codificação de canal, aplicadas de forma hierárquica. A Figura 6 apresenta o sistema ISDB-Tb, detalhando as etapas de codificação e modulação, importantes no processo e para as diferentes camadas.

Figura 6: Diagrama de blocos do sistema ISDB-Tb.



Fonte: Adaptado de SET ([s.d]).

De acordo com a Figura 6, o processamento na camada física ocorre em paralelo para as camadas A, B e C após o re-multiplexador (bloco cinza). Visando garantir a robustez necessária, o sistema utiliza uma codificação de canal que concatena dois estágios de correção de erros: um código externo e um código interno. No primeiro bloco verde, com a utilização do código *Reed Solomon*, é realizada a codificação externa, adicionando redundância para proteger os dados contra erros. Depois que o sinal passar no separador de canal, este é submetido à etapa de codificação interna que é realizada pelo *Inner Coder*, responsável por mitigar os erros aleatórios introduzidos pelo canal.

O bloco Entrelaçador tempo/frequência é posicionado antes da modulação final, como forma de combater erros e espalhar a informação nos domínios do tempo e da frequência. No domínio do tempo, o entrelaçamento distribui os símbolos ao longo de diferentes momentos de transmissão, reduzindo o efeito dos erros e desvanecimentos temporais. No domínio da frequência, a informação é distribuída por diferentes subportadoras, reduzindo os impactos da seletividade em frequência provocada pelo multipercurso.

Os sinais são combinados no bloco Modulação OFDM, seguem para o conversor de subida (*Upconverter*) e finaliza no Amplificador de RF. Com essa estrutura o conjunto de parâmetros de codificação de cada camada hierárquica é configurado de forma independente, o que viabiliza a recepção fixa, portátil e móvel no mesmo canal e de forma simultânea.

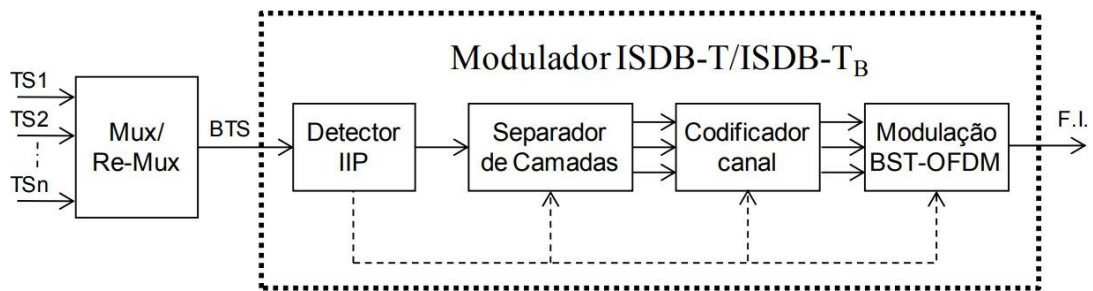
3.3 MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO

As etapas de modulação e codificação, considerados o núcleo da camada física do sistema ISDB-Tb, tem como principal função converter o fluxo de dados digitais em um sinal de radiofrequência robusto, conseguindo superar os desafios presentes no canal de transmissão terrestre. O processo inclui um sistema funcional que prepara, protege e ajusta a informação.

O sistema utiliza a modulação BTS-OFMD na qual cada segmento utiliza uma largura de banda correspondente a quatorze avos da largura de banda do canal. Destes quatorze segmentos, um é utilizado como banda de guarda do canal adjacente superior e inferior e os treze segmentos restantes podem ser combinados em até três camadas. O modulador recebe o BTS do multiplexador/re-multiplexador e extrai todos os parâmetros de modulação (AKAMINE, 2011).

Na Figura 7, é apresentado o fluxo de processamento de dados do modulador, que inicia com a multiplexação dos *Transport Streams* de entrada para a formação do sinal de transporte de transmissão (BTS – *Broad Transport Stream*). Após a detecção de informações de sincronismo (IIP), o fluxo binário é separado de forma hierárquica para o processamento independente. Cada camada passa pelo “Codificador Canal”, em seguida passa pelo bloco “Modulação BTS-OFDM”. O sinal modulado resultante é obtido na frequência intermediária (F.I.) e assim pode ser convertido para a frequência de transmissão final.

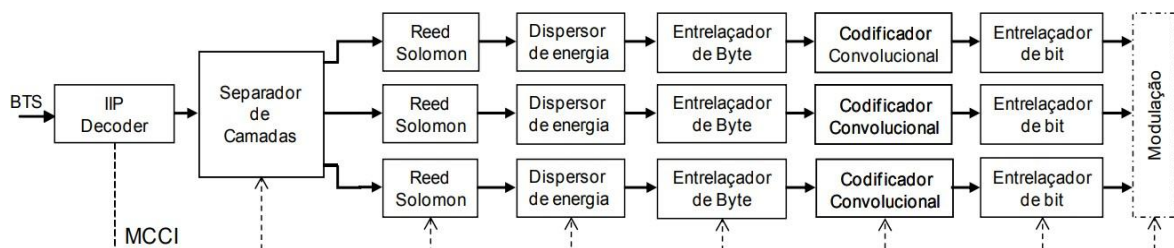
Figura 7: Diagrama simplificado do modulador.



Fonte: Akamine (2011).

O bloco denominado “Codificador canal” presente na Figura 7 é fundamental para a robustez do sistema e é detalhado na Figura 8. O sistema utiliza um esquema de codificação concatenado para a proteção contra possíveis erros. O primeiro estágio é a codificação externa, que utiliza o código *Reed Solomon*, seguido por um dispersor de energia e um entrelaçador de byte. Na codificação interna, realizada pelo Codificador Convolucional é seguido pelo entrelaçador de bit, antes de chegar na etapa final de modulação.

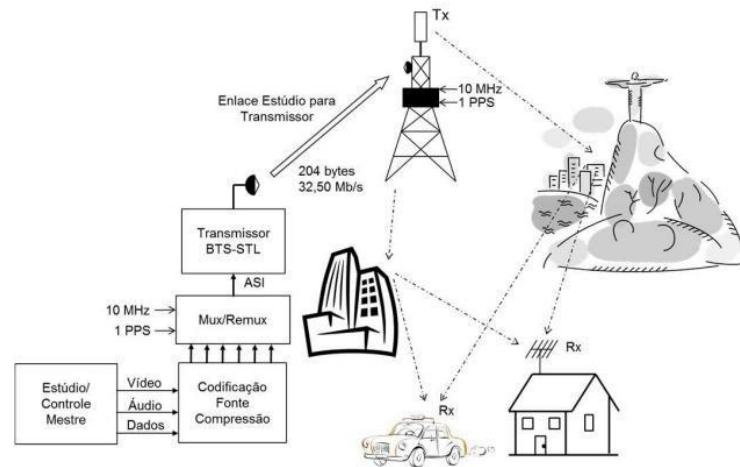
Figura 8: Diagrama do estágio de codificação do canal.



Fonte: Akamine (2011).

O sinal é considerado pronto para transmissão depois de passar pela codificação e modulação OFDM. A Figura 9 ilustra o processo completo, desde a captação e codificação de fonte até a geração do sinal em radiofrequência, que é a informação final entregue ao sistema de amplificação de potência e antena. No transmissor, existe o modulador, que vai ser responsável por encaminhar o sinal para a antena transmissora, possibilitando a propagação e recepção em diversos cenários existentes.

Figura 9: Sistema de transmissão ISDB-Tb.



Fonte: Akamine (2011).

Dessa forma, o ISDB-Tb torna-se um sistema altamente resistente e adaptável graças à combinação de técnicas de modulação avançadas e métodos de codificação eficiente. Assim, o sistema maximiza o uso do espectro e assegura a recepção de alta definição.

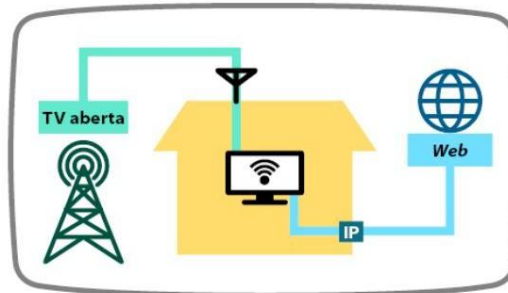
3.4 LIMITAÇÕES DO SISTEMA ATUAL

O sistema brasileiro de televisão digital terrestre em uso atualmente, conhecido como TV Digital 2.5, representa uma evolução do padrão ISDB-Tb. Essa geração foi responsável por introduzir avanços tecnológicos importantes como o suporte a HDR, que proporcionou mais contraste entre áreas claras e escuras, além do áudio imersivo, que proporcionou uma experiência tridimensional.

Mesmo com a implementação dessas tecnologias, o sistema atual mantém limitações estruturais desde que o sistema ISDB-Tb foi adotado, principalmente nos esquemas de modulação, codificação e a organização do sinal OFDM, que estão com a capacidade total atingida. A limitação mais crítica atualmente encontra-se na arquitetura não nativa para *Internet Protocol* (IP). O modelo em vigência opera com caminhos paralelos e distintos, impedindo uma convergência real e efetiva entre a radiodifusão linear e o mundo em que está conectado. A infraestrutura da TV Digital atual está ilustrada na Figura 10.

Figura 10: Modelo atual da TV Digital 2.5.

Modelo atual



- Pouca integração entre ambientes
- Antena externa
- Experiências separadas (*broadcast / broadband*)

Fonte: Agência Senado (2024).

Conforme constatado pela Figura 10, o sinal recebido pela televisão via antena externa está totalmente independente da conexão WEB. Com isso, a integração entre os ambientes é considerada pouca. O sistema atual possui limitação para utilizar a conexão via internet, impedindo as funcionalidades híbridas essenciais.

Além disso, a capacidade espectral do sistema encontra-se praticamente esgotada, pois o canal de 6MHz não comporta, de forma eficiente, novos serviços avançados sem comprometer a qualidade do sinal transmitido. A ausência de uma arquitetura baseada em IP limita a escalabilidade do sistema, o que dificulta a personalização do conteúdo e a integração com aplicações interativas.

A limitação técnica torna-se mais evidente diante da saturação da capacidade do sinal OFDM no padrão atual, impedindo resoluções ultra-definidas (4K/8K) que são aliadas às altas taxas de quadros e ao áudio imersivo. Sendo assim, a TV Digital 2.5 opera com soluções paliativas, que não acompanham as demandas de consumo atuais, evidenciando a necessidade de uma atualização no padrão, como propõe o projeto do novo padrão, a TV 3.0.

4 SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA TV 3.0

Sob a perspectiva de transmissão por radiofrequência, a TV 3.0 propõe avanços significativos em diferentes âmbitos, especialmente nos esquemas de modulação, codificação de canal e eficiência espectral, quando comparada ao sistema atual de televisão digital terrestre. Diante das limitações encontradas no ISDB-Tb, torna-se necessária a evolução do padrão de transmissão a fim de atender às novas demandas de consumo de conteúdos audiovisuais. Nesse contexto, surge a proposta da TV 3.0, chamada também de DTV+, representando um avanço significativo para a próxima geração.

Ao contrário das gerações anteriores, a TV 3.0 possui uma arquitetura de transmissão que é, desde o início, baseada em IP, proporcionando uma flexibilidade maior na entrega de conteúdo e na integração entre os ambientes de radiodifusão e da banda larga. Essa nova abordagem possibilita a transmissão simultânea de serviços lineares, como a programação televisiva ao vivo e a multiprogramação regular, e serviços não lineares, como os vídeos sob demanda, conteúdos interativos e aplicações personalizadas.

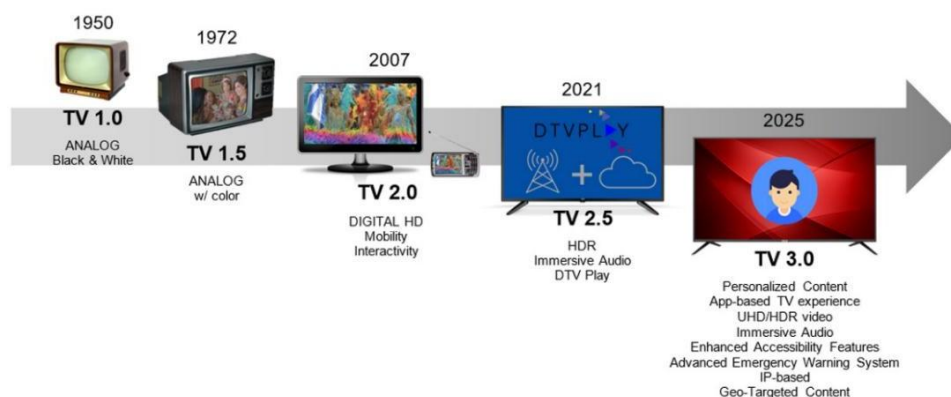
O sistema conta com as interfaces baseadas em catálogos de aplicativo, personalização e segmentação de conteúdo, conforme a localização e personalização pré-definida pelo telespectador, otimizando o uso de espectro de radiofrequência, aprimorando a multiprogramação e a transmissão de dados como serviço de valor adicionado (BRASIL, 2025).

Sendo assim, a TV 3.0 estabelece uma nova abordagem de transmissão por rádio frequência, ao integrar de maneira nativa os ambientes de radiodifusão e banda larga, ampliando a flexibilidade do sistema e ofertando mais serviços ao telespectador. Essas mudanças representam uma evolução significativa em relação ao modelo vigente, criando as bases para a adoção de tecnologias mais avançadas nas camadas físicas e de rede. Portanto, é fundamental compreender a evolução tecnológica que sustenta a TV 3.0, no qual será discutido no próximo subtópico.

4.1 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Nos últimos 15 anos, a indústria do audiovisual evoluiu de forma acelerada com uma série de inovações decorrentes do avanço da tecnologia de digitalização, e a área de produção de conteúdo passou a possibilitar a criação e entrega de conteúdo de maior qualidade e com novas possibilidades tecnológicas, como interatividade e integração com a internet, para impactar a experiência do telespectador (OLIVEIRA, 2022). Com esse dinamismo, a evolução tecnológica impulsionou a transição entre os diferentes padrões de transmissão no Brasil, acompanhado a evolução das demandas de consumo, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11: Evolução das gerações da televisão no Brasil.



Fonte: Fórum SBTVD (2024).

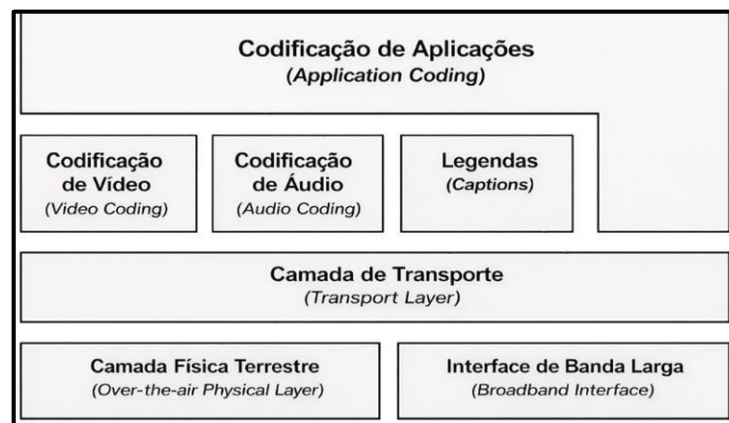
A ordem cronológica apresentada na Figura 11 demonstra o longo caminho desde a TV 1.0 (1950), baseada em sinais analógicos, até a consolidação da TV 2.0 (2007) e sua atualização para o padrão TV 2.5 (2021). Porém, o país avança para a implementação da TV 3.0, que adota uma arquitetura nativa em Protocolo IP, além dos avanços significativos em eficiência espectral, qualidade audiovisual e interatividade.

Segundo Rabaça (2024), “a TV aberta terrestre é a principal plataforma de distribuição audiovisual no Brasil. Ela garante à maioria da população brasileira o acesso gratuito, universal e democrático à informação e ao entretenimento” (p. 16). Portanto, a implementação da TV 3.0 refoça o papel social de integrar a radiodifusão à conectividade moderna.

4.2 ARQUITETURA GERAL

A TV 3.0 utiliza uma arquitetura de sistemas em camadas, desenvolvida para unir de maneira nativa os ambientes de radiodifusão terrestre e banda larga, ultrapassando as restrições das gerações anteriores de televisão digital. Essa estrutura em camadas proporciona mais flexibilidade, escalabilidade e interoperabilidade, permitindo dessa forma a oferta de serviços lineares e não lineares, além de aplicações interativas avançadas. A Figura 12 apresenta a arquitetura geral do sistema, destacando a separação entre as camadas físicas, de transporte e aplicação (BOTELHO, 2025).

Figura 12: Arquitetura geral do sistema de transmissão da TV 3.0.



Fonte: Adaptado Fórum SBTVD (2020).

A Figura 12 apresenta a arquitetura geral do sistema de transmissão da TV 3.0, a qual considera dois métodos de distribuição complementares: a transmissão sem fio terrestre e a distribuição via internet. Com essa abordagem híbrida é permitido uma maior flexibilidade ao entregar os conteúdos e serviços, promovendo a convergência entre radiodifusão e conectividade em banda larga.

A interface física de acesso à internet, denominada Interface de Banda Larga, está fora do escopo das definições rígidas do sistema de TV 3.0, sendo considerada qualquer interface bidirecional de banda larga baseada em IP. Essa escolha arquitetural garante independência tecnológica em relação ao meio de acesso à rede, possibilitando a integração com diferentes infraestruturas de comunicação (FÓRUM SBTVD, 2020).

A camada física terrestre é responsável pela transmissão sem fio do sinal e compreende o esquema de modulação e demodulação, correções de erros, assegura a robustez diante às degradações enfrentadas pelo canal de propagação. Na camada de transporte é realizada a multiplexação e o transporte dos fluxos de vídeo, áudio, legendas e aplicações, além disso todos os metadados para a apresentação correta e funcionamento

dos serviços.

Na camada superior, a codificação de aplicação possui funcionalidades de interatividade, a integração entre transmissão e banda larga e o controle da apresentação de todo o conteúdo audiovisual. Os recursos de acessibilidade e as funções de alerta de emergência são incorporados como subcomponentes da arquitetura, sendo reforçado o caráter inclusivo e orientado a serviços do sistema de TV 3.0 (FÓRUM SBTVD, 2020).

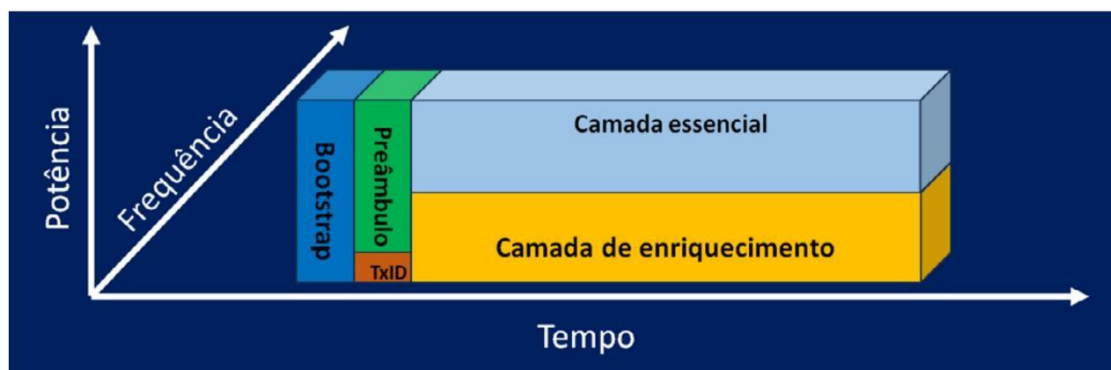
4.3 CAMADA FÍSICA

A camada física da TV 3.0 é responsável pela transmissão do sinal digital em radiofrequência, compreendendo os processos de codificação de canal, modulação e organização espectral. Nessa camada estão concentradas as principais evoluções técnicas do sistema, sendo determinante para aumentar a eficiência espectral, a robustez do sinal e a flexibilidade de operação em comparação com o sistema ISDB-Tb.

Além dos mecanismos de codificação e modulação, a camada física define como o sinal será estruturado e transmitido ao longo do tempo e da frequência. A Figura 13 ilustra a organização física do sinal, destacando os elementos *bootstrap* e o preâmbulo, responsáveis pela inicialização do receptor e pela sinalização dos parâmetros de transmissão. O *TxID* é um recuso utilizado para que o receptor identifique a fonte de transmissão de uma rede de transmissores.

Na Figura 13 evidencia-se o uso da *Layered Division Multiplexing* (LDM), que consiste na transmissão simultânea de múltiplas camadas de dados sobrepostas no mesmo de radiofrequência. As camadas se diferenciam pelos níveis de potência, robustez e capacidade de dados.

Figura 13: Organização do sinal transmitido na camada física da TV 3.0.



Fonte: Botelho (2025).

Portanto, a camada física da TV 3.0 estabelece a base tecnológica para as técnicas de modulação de canal e propõe melhorias de desempenho do sistema. Os detalhes técnicos desses aspectos serão abordados no subtópico a seguir.

4.4 MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO

Na modulação e codificação da TV 3.0 é adotada uma arquitetura baseada no conceito de *Bit-Interleaved Coded Modulation* (BICM), que integra os mecanismos de codificação e modulação de forma eficiente. A Figura 14 ilustra o fluxo de dados, composto pelas etapas de codificação externa, codificação interna e entrelaçamento de bits, posicionadas anteriormente ao processo de modulação. Essa organização visa aumentar a resistência de erros e melhorar o desempenho em canais que estão sujeito a ruídos e multipercurso (BOTELHO, 2025).

Figura 14: Cadeia de modulação e codificação.



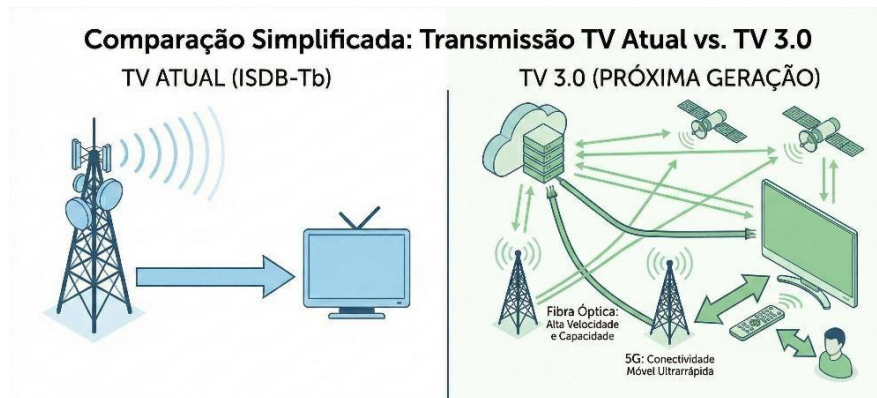
Fonte: Botelho (2025).

No processo de modulação, os bits entrelaçados são mapeados em símbolos transmitidos pelo canal de radiofrequência. A integração entre os processos de codificação e modulação proporcionados pelo esquema BICM representa um avanço significativo quando comparado ao sistema ISDB-Tb, no qual esses processos apresentam uma menor flexibilidade. Com isso a TV 3.0 alcança melhor o espectro de radiofrequência e permitindo uma maior confiabilidade de transmissão

5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ISDB-Tb E TV 3.0

Desde o início da TV Digital no Brasil, discute-se como os consumidores seriam beneficiados com a possibilidade de interagir com o conteúdo e com a emissora de maneira direta, abandonando a experiência passiva e optando por participar ativamente, nos moldes da internet (BOQUIMPANI, 2022). Nesse contexto, o sistema atual ISDB-Tb incorporou o middleware Ginga, que consiste em uma camada intermediária de software que viabiliza a execução de aplicações interativas nos receptores de TV Digital.

Figura 15: Comparação de transmissão do sistema ISDB-Tb e a proposta da TV 3.0.

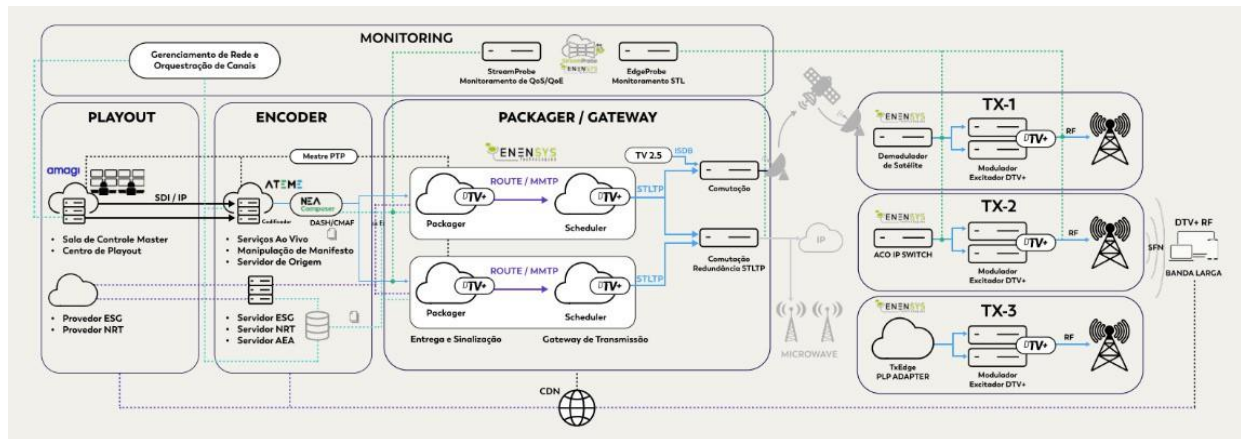


Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA (2026).

Na Figura 15 ilustra a diferença entre o sistema de TV Digital atual, baseado em uma transmissão unidirecional, a proposta da TV 3.0, adota uma arquitetura convergente e híbrida. O modelo atual limita a personalização devido à ausência da conectividade com redes IP. A TV 3.0 une a radiodifusão tradicional com a nova infraestrutura de banda larga e comunicação móvel, possibilitando a oferta de serviços interativos avançados.

Na Figura 16 detalha o fluxo de sinal em uma cabeça de rede preparada para a TV 3.0. Diferente do ISDB-Tb, observa-se a centralização do protocolo IP em todas as etapas: iniciando no *Playout* até o *Packager*, onde os protocolos ROUTE substituem o tradicional Transport Stream (MPEG-TS). Com essa transição é possível que o conteúdo seja segmentado de forma dinâmica entre a transmissão via ar (broadcast) e a entrega via rede de dados (broadband), integrando serviços de interatividade avançadas diretamente na camada de transporte.

Figura 16: Diagrama de arquitetura técnica de uma estação de transmissão TV 3.0 com integração IP e suporte a SFN.



Fonte: AD Digital (2025).

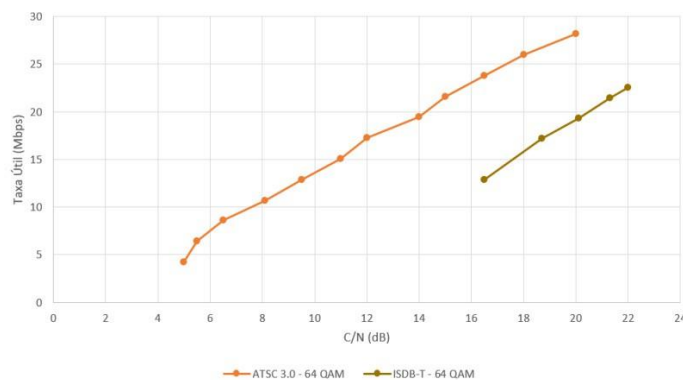
Ao comparar o modelo ISDB-Tb com a TV 3.0, nota-se a necessidade de transição de um sistema baseado em interatividade limitada e dependente de uma infraestrutura complementar para uma plataforma orientada a serviços digitais e à personalização de conteúdo, alinhado a televisão aberta às demandas atuais de consumo audiovisual.

5.1 DIFERENÇAS NA MODULAÇÃO

A modulação nos sistemas de televisão digital é considerada um elemento fundamental, pois influencia diretamente a robustez do sinal, a taxa de transmissão e a qualidade da recepção. A multiplexação por divisão em frequência ortogonal é utilizada tanto no ISDB-Tb quanto na TV 3.0 mas com diferenças relacionadas à flexibilidade e eficiência espectral de cada sistema.

O impacto da modulação pode ser analisado de forma quantitativa por meio da relação entre a taxa útil de transmissão e a relação sinal-ruído (C/N). A Figura 17 apresenta a comparação entre os padrões ATSC 3.0 e ISDB-Tb utilizando uma modulação 64-QAM, evidenciando o desempenho de cada sistema em termo de eficiência espectral.

Figura 17: Comparação entre o ATSC 3.0 e o ISDB-Tb utilizando modulação 64-QAM.



Fonte: Adaptado de Rivera et al. (2019).

Na Figura 17, observa-se que, mesmo utilizando a mesma ordem de modulação (64-QAM) o sistema ATSC 3.0 apresenta maiores taxas úteis de transmissão para um mesmo valor de relação sinal-ruído (C/N) quando comparado ao sistema ISDB-Tb. Dessa forma, fica evidenciado a maior eficiência espectral e flexibilidade do sistema de modulação adotado pela TV 3.0 (RIVERA et al., 2019).

A TV 3.0 adota um esquema de modulação mais flexível e eficiente, possibilitando o uso de ordens de modulação, entendidas como esquemas que utilizam um maior número de símbolo distintos na constelação, como *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), 16-QAM, 64-QAM e 256-QAM, resultando um melhor aproveitamento do espectro. Essa evolução possibilita que o sistema da nova geração tenha um aumento na capacidade de transmissão, sem comprometer a qualidade da recepção e permite o suporte a conteúdos de maior qualidade.

Portanto, as diferenças refletem a necessidades das novas demandas atuais. No ISDB-Tb se busca priorizar a robustez e a confiabilidade do sinal, enquanto que a TV 3.0 busca maior eficiência e flexibilidade. Com isso, visa atender às demandas com maior capacidade de transmissão.

5.2 DIFERENÇAS NA CODIFICAÇÃO DO CANAL

A codificação do canal busca aumentar a confiabilidade de transmissão, reduzindo os efeitos de ruídos, interferências e perdas dos dados durante a propagação do sinal. Esse processo é essencial para garantir a integridade das informações que são recebidas, especialmente em sistemas de televisão digital que operam em ambientes sujeitos a variações nas condições do canal.

No sistema ISDB-Tb, a codificação baseia-se em esquemas tradicionais de correção de erros, como por exemplo os códigos convolucionais e *Reed-Solomon*. Essa combinação contruibui para a estabilidade da recepção mesmo em cenários com

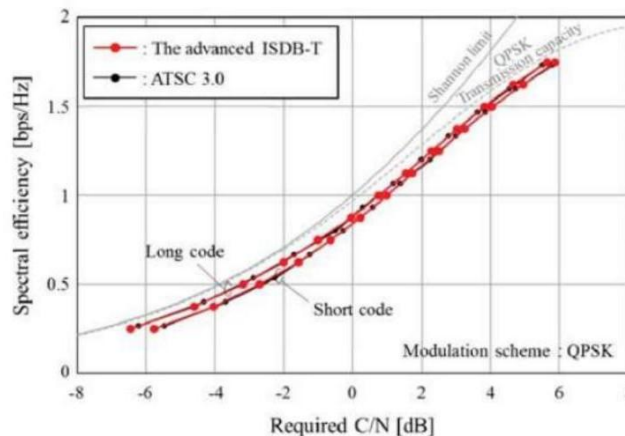
interferências e multipercursos. No entanto, as limitações impactam na eficiência, principalmente quando se busca maior taxa de transmissão de dados.

A TV 3.0, por outro lado, adota técnicas mais modernas de codificação do canal, proporcionando assim um maior desempenho na correção dos erros e maior eficiência espectral. Nesse esquema as transmissões são mais eficientes, com menor taxa de erro para a mesma potência do sinal, favorecendo a entrega de conteúdos com uma alta resolução e serviços interativos mais complexos quando comparado ao sistema ISDB-Tb.

5.3 EFICIÊNCIA ESPECTRAL

A eficiência espectral é um parâmetro fundamental na análise de sistemas de comunicação, pois dessa forma consegue expressar a quantidade de informação transmitida por unidade de largura de banda. Nos sistemas de televisão digital, esse indicador está diretamente ligado à capacidade de transmissão, à qualidade dos serviços oferecidos, isso porque é um recurso naturalmente limitado.

Figura 18: Comparação da eficiência espectral entre os sistemas ISDB-Tb e TV 3.0.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A Figura 18 apresenta uma comparação quantitativa da eficiência espectral entre os dois sistemas em função da Relação Sinal-Ruído (SNR). O eixo vertical representa a eficiência espectral, expressa em bits por segundo por Hertz (bps/Hz), enquanto no eixo horizontal indica o valor de C/N necessário para a recepção do sinal ocorra de forma adequada.

Ao observar a Figura 18 pode-se notar que a curva da TV 3.0 (indicada pela cor preta) apresenta um comportamento assintótico muito mais próximo do Limite de Shannon (indicada pela linha tracejada) do que o sistema atual (indicado pela linha vermelha). Essa proximidade com o limite teórico indica que a geração da TV 3.0 utiliza o espectro de maneira quase ideal.

O ganho de performance é justificado a partir da substituição dos códigos

convolucionais pelo esquema de codificação LDPC (*Low-Density Parity-Check*), quando combinado com o BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*), esse conjunto forma uma camada de correção de erros robusta e eficiente, operando muito próximo ao limite de Shannon. Em resumo, isso significa que, nas mesmas condições de ruído, a TV 3.0 consegue transmitir uma quantidade significativamente maior de dados.

5.4 RESULTADOS DE TESTES PRÁTICOS

Para validar as especificações técnicas da TV 3.0, apresentam-se dados obtidos no relatório de testes de laboratório da fase 3, publicado pelo Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD) em novembro de 2020. Os testes foram realizados em ambiente laboratorial, conduzido pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, avaliaram o desempenho do sistema selecionado como novo padrão para a camada física brasileira, com base tecnológica no padrão internacional ATSC 3.0 (*Advanced Television Systems Committee*) . Com o objetivo de comprovar a superação das limitações do sistema atual.

O principal requisito para a nova geração da TV Digital é a capacidade de transmitir conteúdos em 8K e múltiplos fluxos HDR, exigindo uma taxa de transferência superior aos 19 Mbps no padrão atual da TV Digital. A Figura 18 apresenta os resultados com os principais parâmetros de configuração adotados nos ensaios, incluindo largura de banda, esquema de modulação, codificação do canal e taxa de transmissão.

Figura 19: Parâmetros técnicos das configurações de transmissão avaliadas nos testes de camada física da TV 3.0.

Parâmetro	Configuração 8	Configuração 9	Configuração 10
	CL	CL	CL
Largura de banda	6 MHz	6 MHz	6 MHz
Largura de banda útil	5,831 MHz	5,831 MHz	5,831 MHz
Modulação	256QAM	256QAM	256QAM
Constelação	NUC	NUC	NUC
FEC	LDPC (11/15) 64800 + BCH	LDPC (10/15) 64800 + BCH	LDPC (8/15) 64800 + BCH
Tamanho da IFFT	16K	16K	16K
Razão do Intervalo de Guarda (GI)	4,768 (111 µs)	4,768 (111 µs)	4,768 (111 µs)
Padrão de Pilotos	MP8_2	MP8_2	MP8_2
Codificação dos Pilotos	Walsh-Hadamard (WP)	Walsh-Hadamard (WP)	Walsh-Hadamard (WP)
Número de símbolos OFDM	98	98	98
Entrelaçamento temporal	CTI_1024	CTI_1024	CTI_1024
Taxa de bits (Mbps)	57,08	51,86	41,44

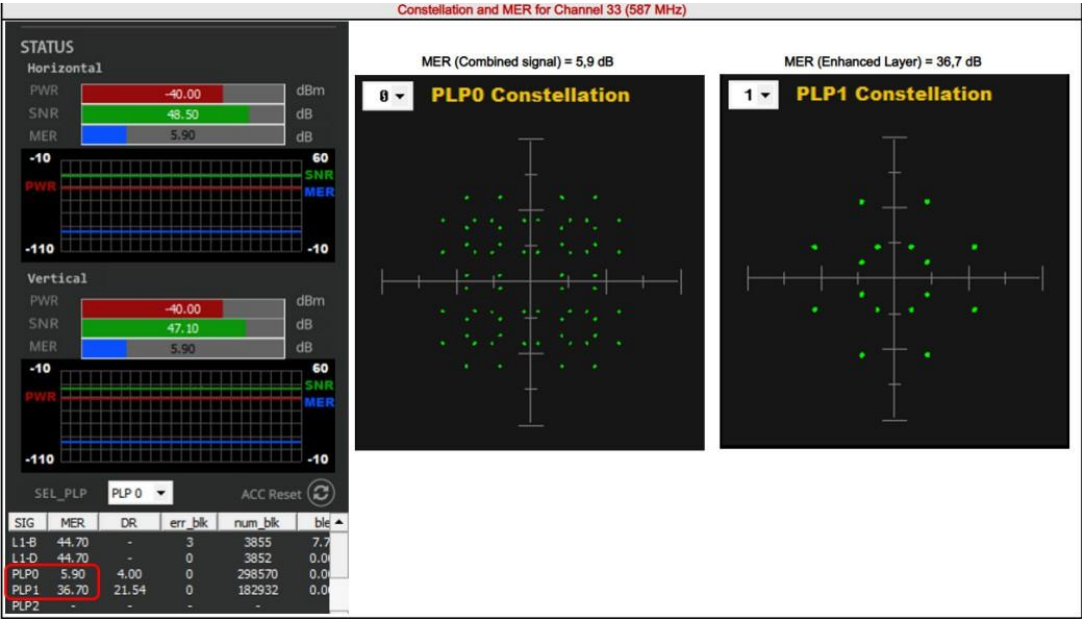
Fonte: Adaptado de Fórum SBTVD (2024).

Na tabela apresentada na Figura 19, as configurações utilizam largura de banda de 6MHz e modulação 256-QAM. As variações identificadas impactam diretamente na taxa de bits útil do sistema, oscilando entre 41,44 Mbps e 57,08 Mbps, demonstrando que o sistema possui a robustez necessária para o transporte de grande volume de dados, sendo um dos aspectos fundamentais no projeto da TV 3.0.

A TV 3.0 introduz a técnica de Multiplexação por Divisão de Camada (LDM),

permitindo a transmissão simultânea de serviços com níveis diferentes de robustez. A Figura 20 apresenta os resultados experimentais correspondentes às constelações e os valores de MER (*Modulation Error Ratio*) obtidos durante a realização dos testes laboratoriais, evidenciando a separação física entre as camadas de serviço.

Figura 20: Constelação e MER do canal 33 (587 MHz) para transmissão em dupla camada (LDM) no sistema TV 3.0.



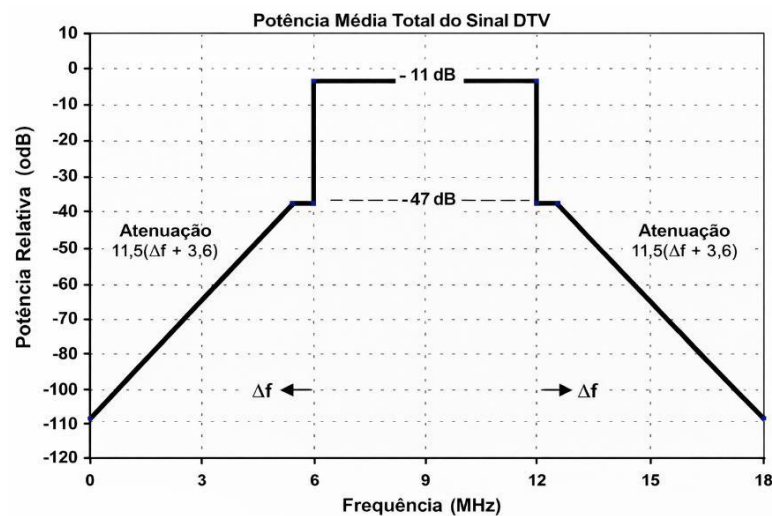
Fonte: Adaptado de Fórum SBTVD (2024).

Na Figura 19, observa-se que a camada PLP1, apresenta um valor de MER (*Modulation Error Ratio* ou Taxa de Erro de Modulação) significativamente superior, indicando uma melhor qualidade do sinal e maior eficiência na transmissão. A técnica de Multiplexação por Divisão de Camada (LDM), permite a transmissão simultânea de serviços com níveis diferentes de robustez . A Figura 19 apresenta os resultados experimentais correspondentes às costelações e os valores de MER obtidos durante a realização dos testes laboratorias, evidenciando a separação física entre as camadas de serviço.

A partir desses resultados é comprovada a capacidade do sistema TV 3.0 de operar com múltiplas camadas, conciliando robustez e maior capacidade de dados, característica importante para suportar serviços avançados. A camada aprimorada (PLP1) apresentou um MER de 36,7 dB, caracterizando um sinal de alta qualidade e elevada robustez à interferência.

Para assegurar a coexistência de canais adjacentes no sistema de televisão digital, é fundamental que o sinal transmitido atenda não apenas os parâmetros de modulação e codificação, mas também à conformidade espectral. Para isso, são estabelecidas máscaras espectrais que determinam os limites máximos de potência permitidos com base no desvio de frequência em relação ao canal central.

Figura 21: Máscara espectral de potência do sinal de TV Digital.



Fonte: Adaptado de Fórum SBTVD (2024).

A Figura 21 apresenta a máscara espectral de potência empregada como critério de conformidade na transmissão do sinal de televisão digital. Nota-se que a potência do sinal se mantém praticamente constante dentro da banda útil do canal, definindo a área de transmissão eficaz (SBTV, 2024). Além dessa região, a máscara exige uma redução progressiva da potência em relação ao desvio de frequência (Δf), com o objetivo de restringir emissões fora de banda e minimizar interferência em canais adjacentes. Com essa propriedade é possível garantir a compatibilidade eletromagnética entre diversas transmissões no espectro de radiodifusão, cumprindo as normas regulatórias do sistema TV 3.0 (baseadas no padrão ATSC 3.0).

A inclinação das bordas da máscara espectral demonstra os níveis mínimos de atenuação necessários fora da banda útil, evidenciando o equilíbrio entre eficiência espectral e proteção contra interferências. Assim, no contexto do sistema brasileiro de televisão digital de nova geração, a máscara espectral avalia a qualidade e a conformidade do sinal transmitido.

5.5 MELHORIAS DO SISTEMA

A evolução do sistema de televisão digital brasileiro do padrão ISDB-Tb para a TV 3.0 representa um conjunto de melhorias técnicas. Na Figura 22 são apresentadas as mudanças que abrangem desde a qualidade audiovisual até as interações que os telespectadores terão com os conteúdos exibidos na programação.

Figura 22: Comparação dos padrões ISDB-Tb e a TV 3.0.

TV Atual (ISDB-Tb)	TV 3.0 (DTV+)
 Resolução Máxima: Full HD (1080i/p)	 Resolução Máxima: 4K (via ar) e até 8K (via banda larga)
 Compressão de Vídeo: H.264 (AVC)	 Compressão de Vídeo: VVC (H.266) e LCEVC
 Sistema de Áudio: AAC (Estéreo/5.1)	 Sistema de Áudio: MPEG-H (Áudio Imersivo/Objetos)
 Camada de Transporte: MPEG-2 TS	 Camada de Transporte: Baseada em IP (ROUTE/DASH ou MMTP)
 Interatividade: Giga (DTVi)	 Interatividade: DTV Play (App-centric/HTML5)
 Sinalização: Unidirecional	 Sinalização: Híbrida/Bidirecional (Ar + Internet)
 Navegação: Por números de canais	 Navegação: Baseada em Aplicativos das emissoras
 Publicidade: Genérica (para todos)	 Publicidade: Segmentada e personalizável
 Cores e Contraste: SDR (8-bit)	 Cores e Contraste: HDR (10-bit ou mais / Rec. 2020)

Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA (2026).

Com relação à qualidade de imagem e som, na TV 3.0 as capacidades são ampliadas e ao comparar com o sistema atual permite resoluções superiores, com 4K e 8K, além disso o uso de tecnologias avançadas é primordial para realizar compressões eficientes. Sendo assim, as inovações possibilitam aproveitar a largura de banda disponível, aumentando a qualidade do sinal sem comprometer a eficiência da transmissão.

A TV 3.0 visa melhorar a experiência do usuário personalizando o conteúdo apresentado na televisão. Enquanto o sistema atual opera de forma genérica, a nova proposta amplia as possibilidades de interação adequando de acordo com as preferências do telespectador. Isso é resultado da melhoria existente na camada de transporte, que passa a ser baseada no protocolo IP.

As inovações apresentadas pela TV 3.0 tornam a plataforma mais flexível, eficiente e supera as limitações técnicas do sistema ISDB-Tb. As melhorias que foram observadas na modulação, codificação do canal e na eficiência espectral do sistema contribuem para uma transmissão mais confiável em diferentes condições de propagação. A partir dessas análises, o próximo capítulo apresentam as conclusões deste trabalho, simplificando os principais resultados obtidos e destacando as contribuições da TV 3.0 para a evolução do padrão da televisão digital.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi propor uma análise comparativa do sistema de televisão digital no Brasil, comparando o padrão atual adotado, o *ISDB-Tb*, com a proposta da TV 3.0, sob uma perspectiva técnica, funcional e trazendo qual será a experiência do usuário final. Ao longo do estudo, foi possível compreender que, embora o sistema atual esteja consolidado no país enfrenta limitações com relação às novas demandas de consumo.

A adoção de técnicas avançadas de modulação e codificação, como a integração do esquema BICM, aliada a novos métodos de organização e uso mais eficiente do espectro de radiofrequência, contribui para uma transmissão mais robusta e eficiente em diversos cenários. As melhorias nas técnicas de transmissão em RF, a TV 3.0 promove uma inclusão significativa com redes IP, visando maior suporte à interatividade, melhorias na qualidade do áudio e vídeo e na flexibilidade na oferta de serviços.

Analizando a arquitetura de sistemas, demonstrou-se que a principal migração reside na mudança do fluxo de transporte MPEG-2 TS para uma arquitetura baseada inteiramente em IP. A partir dessa mudança o conteúdo, que seria transmitido via espectro eletromagnético passa a ser enviado pela internet. Nas aplicações baseadas em DTV Play, superando as limitações do middleware Ginga, que trata a interatividade como um adicional ao sistema broadcast, a sincronização entre as informações provenientes da transmissão por antena e aquelas obtidas pela internet é considerada complexa.

Por fim, embora a implementação da TV 3.0 trate desafios técnicos e investimentos para a implementação do sistema, os benefícios apresentados indicam que a evolução é fundamental para assegurar a relevância da televisão digital no cenário contemporâneo.

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos práticos e experimentais para avaliar o desempenho da TV 3.0 em ambientes reais de transmissão e recepção, considerando métricas como a qualidade de serviço, qualidade de experiência, latência e a conectividade entre broadcast e broadband. A implementação de aplicações interativas que são baseadas no DTV Play, além de testes em diferentes condições de mobilidade e cobertura, contribuem para uma compreensão mais precisa das diferenças dos padrões estudados.

REFERÊNCIAS

MONTEZ, Carlos; BECKER, Valdecir. **TV Digital Interativa: conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

GOBBI, Maria Cristina; KERBAUY, Maria Teresa Miceli (orgs.). **Televisão digital: informação e conhecimento**. São Paulo: Editora Unesp, 2010. Acesso em 12/12/2023.

DOMINGUES, Joelza Ester. **TV Tupi: primeira emissora da América Latina**. Blog Ensinar História, 2017. Disponível em: <<https://ensinarhistoria.com.br/linha-do-tempo/tv-tupi-primeira-emissora-america-latina/>> Acesso em: 12 de novembro 2025.

SET – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE TELEVISÃO. **Primeira transmissão digital no Brasil completa 10 anos**. SET News, 4 dez. 2017. Disponível em: <<https://set.org.br/set-news/primeira-transmissao-digital-no-brasil-completa-10-anos/>> Acesso em: 12 de novembro 2025.

LATHI, B. P.; DING, Zhi. **Sistemas de comunicação lineares e eletrônicos: análogo e digital**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

YATEBTS. **OFDM: The Science Behind LTE**. [s.d.]. Disponível em: <https://yatebts.com/ofdm-the-science-behind-lte/>.

MATHWORKS. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) explained*. 2026. Disponível em: mathworks.com/discovery/ofdm.html.

COUTINHO, Pedro. **OFDM/OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access)**. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/coutinho/OFDM.OFDMA\(OrthogonalIFrequencyDivisionMu.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/coutinho/OFDM.OFDMA(OrthogonalIFrequencyDivisionMu.html))> Acesso em: 12 de novembro 2025.

PROAKIS, John G.; SALEHI, Masoud. **Digital communications**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

COUCH, Leon W.; *Digital & Analog Communication Systems*. 8. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2013. (Tradução livre).

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15601: Televisão digital terrestre – Sistema de transmissão**. Rio de Janeiro, 2007.

MENEZES, José Isaac De Souza. **Sistemas de Transmissão Multiportadoras Baseados na Transformada Wavelet Discreta**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SET. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão. **TV DIGITAL MÓVEL E PORTÁTIL**. Revista da SET. Disponível em: <<https://set.org.br/revista-da-set/tv-digital-movel-e-portatil>>.

AKAMINE, Cristiano. **Contribuições para distribuição, modulação e demodulação do sistema de TV digital ISDB-TB**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SENADO FEDERAL. Agência Senado. **Conselho cobra mais inclusão e privacidade para nova televisão digital**. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/12/02/conselho-cobra-mais-inclusao-e-privacidade-para-nova-televisao-digital>>.

BRASIL. Decreto nº 12.595, de 27 de Agosto de 2025. **Dispõe sobre o padrão tecnológico da TV 3.0 e estabelece diretrizes para sua implementação no Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2025.

OLIVEIRA, Erick Soares de. **Evoluções Tecnológicas de Vídeo no Padrão de TV Brasileiro**. Revista SET, [S. l.], 2022. Disponível em: <<https://set.org.br/news-revista-da-set/revista/evolucoes-tecnologicas-de-video-no-padrao-de-tv-brasileiro/>>.

FÓRUM SBTVD. Projeto TV 3.0. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/>.

BOTELHO, Alberto Leonardo Penteado. **Arquitetura e fundamentos tecnológicos da TV 3.0**. Revista SET, n. 220, 2025. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão. Disponível em: <https://set.org.br/wp-content/uploads/2025/04/REVISTASET_220_GTTV3.0-sa.pdf>.

FÓRUM DO SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL TERRESTRE (FÓRUM SBTVD). **Call for Proposals: TV 3.0 Project**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://forumsbtvd.org.br/tv3_0/>.

BOQUIMPANI, Aguinaldo. **DTV Play – A nova plataforma de interatividade na TV Digital 2.5 e como ela vai evoluir para a TV 3.0**. Revista da SET, Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão. Disponível em: <<https://set.org.br/news-revista-da-set/revista/evolucao-da-interatividade-da-tv-2-5-para-a-tv-3-0/>>.

AD DIGITAL. **A nova era da TV aberta no Brasil: e-book DTV+**. São Paulo: AD Digital, 2025. Disponível em: <<https://addigital.com.br/material/ebook-dtv-v1.pdf>>.

RIVERA, Leonardo D.; **MELO**, Gabriel; **FERRARESSO**, Gabriel; **FERREIRA**, Tadeu N.; **CARRANO**, Ricardo C. **Análise comparativa entre os padrões SBTVD e o ATSC 3.0 para televisão digital**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS (SBrT), 37., 2019, Petrópolis, RJ.

FÓRUM DO SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL TERRESTRE (FÓRUM SBTVD). *TV 3.0 – Phase 3: Physical Layer Field Report*. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://forumsbtvd.org.br/>>.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

TCC - Isabely Matos

Assunto:	TCC - Isabely Matos
Assinado por:	Isabely Matos
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Isabely Samara Simão de Matos, DISCENTE (20202610028) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 12/02/2026 11:42:08.

Este documento foi armazenado no SUAP em 12/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1765493
Código de Autenticação: 512047d47f



	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

TCC - Isabely Matos

Assunto:	TCC - Isabely Matos
Assinado por:	Isabely Matos
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Isabely Samara Simão de Matos, DISCENTE (20202610028) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 21/02/2026 22:56:56.

Este documento foi armazenado no SUAP em 21/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1773482
Código de Autenticação: dac927554b

