

Capítulo IV – Análise e Monitoramento do Vídeo e Closed Caption via PID na TV Digital aplicada em uma Rede de Televisão

Matheus Leandro Cuenca ¹³

Renato Kazuo Miyamoto ¹⁴

Wesley Candido da Silva ¹⁵

RESUMO

A evolução da transmissão televisiva digital no Brasil trouxe desafios para a garantia da qualidade dos sinais de áudio, vídeo e legendagem oculta (closed caption). Este trabalho apresenta a análise e monitoramento do vídeo e closed caption na recepção do sinal de TV Digital terrestre, utilizando o pacote de identificação Packet Identifier (PID). A metodologia implementada envolveu a captação do sinal UHF, a demodulação e análise do fluxo de transporte Transport Stream (TS), garantindo que os serviços essenciais sejam transmitidos corretamente. A validação foi realizada por meio de ensaios laboratoriais, simulando falhas no sinal e verificando a eficácia do sistema desenvolvido. A implementação foi feita em uma empresa do setor de radiodifusão televisiva, permitindo um monitoramento contínuo e eficiente da transmissão, assegurando conformidade com as normas regulatórias e aprimorando a experiência do telespectador.

Palavras-chave: TV Digital, Monitoramento de Sinal, PID, Closed Caption, Transport Stream, ISDB-Tb.

Analysis and Monitoring of Video and Closed Caption via PID in Digital TV Applied to a Television Network

ABSTRACT

The evolution of digital television broadcasting in Brazil has brought challenges in ensuring the quality of audio, video, and closed caption signals. This study presents the analysis and monitoring of video and closed caption reception in terrestrial digital TV signals using the Packet Identifier (PID). The implemented methodology involved capturing the UHF signal, demodulating, and analyzing the Transport Stream (TS) to ensure essential services are properly transmitted. Validation was conducted through laboratory tests, simulating signal failures and verifying the effectiveness of the developed system. The implementation was carried out in a television broadcasting company, enabling continuous and efficient monitoring of transmissions, ensuring regulatory compliance, and enhancing viewer experience.

Keywords: Digital TV, Signal Monitoring, PID, Closed Caption, Transport Stream, ISDB-Tb.

¹³ Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina.

¹⁴ Doutor em Engenharia Elétrica. UniSenaiPR - Campus Londrina, renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

¹⁵ Especialista. UniSenaiPR - Campus Londrina, wesley.candido@sistemafiep.org.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Oliveira; Souza; Feitosa (2019) [1], a partir do mês de dezembro de 2007, iniciou-se a era da transmissão digital na televisão aberta e terrestre no Brasil. Desenvolvido para prover uma robusta proteção contra interferências e ter uma alta qualidade de áudio, vídeo e transmissão de dados (BEDICKS JUNIOR, et al., 2007).

Com o objetivo de propor normas, padrões e regulamentos técnicos voluntários obrigatórios do sistema de televisão digital terrestre, e ainda realizar o gerenciamento de especificações técnicas, a partir do decreto presidencial nº 4.901 em 26 de novembro de 2003, foi fundado o comitê SBTVD (*Sistema Brasileiro de Televisão Digital*) [3]. A função do SBTVD consiste em definir e padronizar um modelo de referência para o sistema de transmissão digital terrestre no Brasil.

A partir do decreto nº 5.820 de 29 de junho de 2006 ocorreu a implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre - SBTVD-T na plataforma de transmissão e retransmissão de sinais de radiodifusão de sons e imagens (BRASIL, 2006a) [4]. Nesse mesmo ano. O governo brasileiro anunciou que o melhor sistema era o ISDB-Tb (*Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial Brasil*), que consiste em uma evolução do sistema japonês ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial*). Assim como o sistema japonês, o sistema brasileiro possibilita a recepção do sinal de TV Digital através de dispositivos fixos, móveis e portáteis, além da transmissão de multiprogramação, transmitindo mais de um programa simultaneamente, contudo destacou-se por possuir maior eficiência na compressão de áudio e vídeo (BRASIL, 2006a) [4].

Para que o sinal desejado chegue de um ponto até o outro, deve-se considerar três componentes: transmissão, o canal e os receptores. A transmissão tem por objetivo a produção de conteúdo, gerando sinais de áudio, vídeo e dados, por uma única via de transporte, por meio de pacotes com estrutura bem definida, sendo possível interpretar e processar esses fluxo que estão padronizados pela norma ISO 13818-1 [5].

O canal, que se refere ao meio de comunicação, opera através de ondas eletromagnéticas transmitidas pelo ar, em que cada emissora de TV Digital possui uma faixa de frequência determinada. E por fim, tem-se os receptores, que realizam a demodulação dos sinais e a decodificação de canal. Assim, o feixe de informações chega ao sistema da camada de transporte, que individualiza cada tipo de informação, compõe os sinais de vídeo, áudio e dados, entregando cada fluxo individualizado para seus respectivos decodificadores.

Para que o sistema tenha sucesso, é indispensável que as três componentes funcionem corretamente, apesar da transmissão ser o único sob controle das emissoras de TV.

A informação transmitida em uma geradora, comumente localizada nos grandes centros, deve ser levada a centros menores, a medida em que as empresas expandem a área de cobertura em seu território de abrangência. Há que se considerar que as retransmissoras de TV Digital, causam impactos comerciais e econômicos para as emissoras de TV, além do impacto social para a população que se utiliza desse serviço. Dentro esses e outros motivos, é de responsabilidade da geradora garantir que os inúmeros pontos de retransmissão estejam em pleno funcionamento.

A proposta deste trabalho fundamenta-se em analisar a recepção do sinal de TV Digital de uma emissora ou retransmissora, com o objetivo de garantir um monitoramento eficiente do sinal do ar e dos serviços presentes no respectivo sinal, tais quais: áudio, vídeo e legenda oculta (*closed caption*). Com isso, será possível validar que o sinal transmitido vá ao ar com os serviços de acessibilidade em pleno funcionamento, e até mesmo validar a confiabilidade do sinal no ar, ainda que em cidades distantes.

Sendo assim, este trabalho pretende realizar a captura do sinal UHF de TV Digital, realizar a decodificação do TS (*Transport Stream*), identificando o PID (Pacote de identificação), que caracteriza o valor de identificação do pacote a ser analisado, por exemplo, o vídeo do full seg (PID 273), closed caption do full seg (PID 278), desta maneira, será possível analisar e monitorar o sinal transmitido, no ponto de recepção, a fim de assegurar a melhor experiência para o telespectador.

Segundo a ANATEL (*Agência Nacional de Telecomunicações*), a norma complementar nº01/2006 [2], abrange recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão, a mesma foi aprovada pela Portaria nº 310, de 27 de junho de 2006, e prevê penalidades prescritas no Código brasileiro de telecomunicações caso haja o descumprimento das disposições contidas na norma. Dessa maneira, é de suma importância assegurar que os serviços de acessibilidade como por exemplo, legenda oculta (*closed caption*) e áudio descrição, sejam transmitidos aos telespectadores.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. ANÁLISE DE SISTEMAS DE TV DIGITAL E O PROCESSO DE CODIFICAÇÃO

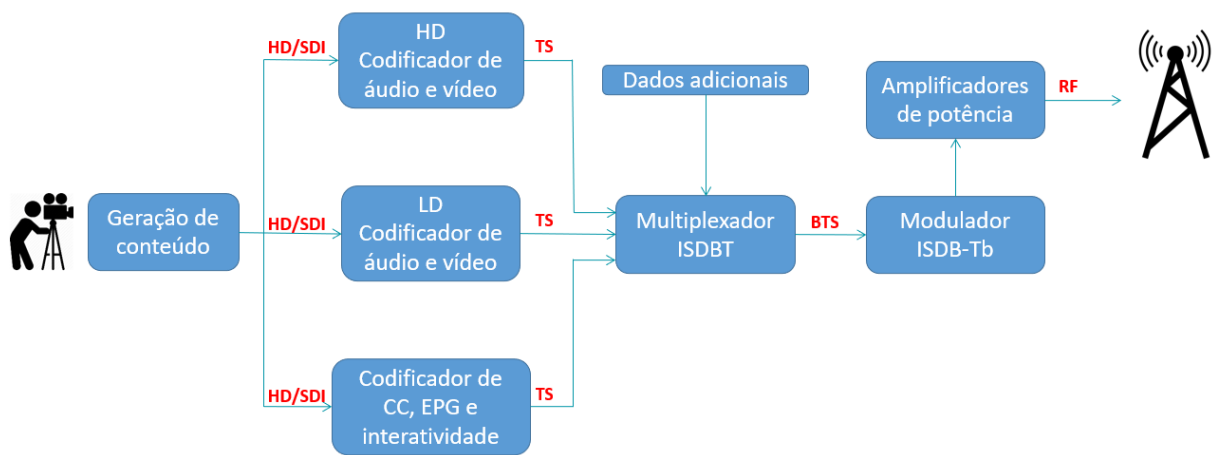
A etapa de codificação de fonte é fundamental dentro do processo de transmissão de TV Digital uma vez que é nesta etapa que ocorre a redução da taxa de transmissão dos sinais que serão transmitidos. O codificador ou encoder é responsável por reduzir a taxa de transmissão dos serviços que serão transmitidos. A composição dos serviços HD (*High definition*), SD (*Standard definition*) e one-seg ou LD (*Low definition*) tem seu início na formação dos fluxos TS (*Transport stream*) de saída dos encoders. A taxa de transmissão da interface serial HD-SDI para o transporte do vídeo de alta definição (HDTV) é da ordem de 1.485Gbps [16], ou seja, trata-se de um sinal sem compressão, originado no estúdio e que será codificado por um encoder HD compondo um serviço a ser transmitido. Com a codificação MPEG-4/H.264 pode-se reduzir a taxa do sinal HD-SDI [14] a valores na ordem de 10Mbps a 15Mbps mantendo-se um elevado grau de qualidade. O mesmo ocorre para o caso SDTV, em que o encoder SD realiza a compressão do sinal SD-SDI de 270Mbps a valores na ordem de 5Mbps [15]. No caso da operação one-seg, tem-se na saída dos encoders LD, uma taxa na ordem de 380kbps. Estes são valores típicos de taxas de transmissão dos sinais TS para os serviços de TV Digital encontrados na prática.

O sistema de codificação possui a meta de realizar tal compressão de sinais. O objetivo é reduzir a taxa de dados do sinal SDI, afim de comportá-lo a

uma ocupação de banda de 6MHz. O resultado da compressão, origina o sinal TS (transport stream) e representa os sinais de áudio e vídeo comprimidos pelo sistema de codificação. A etapa de multiplexação possui grande importância no sistema de TV Digital, pois é responsabilidade do Mux-ISDB-Tb gerar o fluxo de transporte adequado à situação de radiodifusão, o denominado BTS (Broadcast Transport Stream). Na composição do BTS, existem pacotes (IIP-ISDB-Tb Information Packet) que transportam as informações de configuração do próprio sistema de modulação/transmissão, além de informações sobre configurações de redes SFN (Single Frequency Networks).

A figura 2.1 contempla de maneira sucinta as etapas do processo para a transmissão do sinal de TV Digital.

Figura 2.1: Diagrama de sistema de TV Digital



Fonte: autor (2022)

1.2. ETAPAS DO PROCESSO DE CODIFICAÇÃO DE FONTE

O elo entre a etapa de produção e a transmissão se faz por intermédio de uma interface de sinal serial de alta velocidade normatizada como SDI – Serial Digital Interface. Trata-se de um sinal que ocupa elevada largura de banda, pois transporta os sinais de vídeo e áudio que compõe a programação de uma emissora. Com os avanços na pesquisa e desenvolvimento em sistemas de televisão, a resolução e a qualidade de sinais de TV aumentaram, refletindo em sinais SDI de maior velocidade. É importante já perceber que a rádio difusão de sinais de alta velocidade requer grande largura de banda, para atender a

demanda, as interfaces seriais digitais (SDI) trafegam dados com taxas na ordem de Gbps [16].

A primeira etapa dentro do encoder se traduz na interpretação correta do fluxo SDI, seguido da demultiplexação dos sinais de áudio e vídeo. A forma de codificação e a compressão para os sinais de vídeo e áudio são diferentes em virtude da natureza da informação e das características dos sistemas visual e auditivo humano. Portanto, tem-se uma etapa de codificação de vídeo separada da codificação de áudio no encoder. O resultado da compressão de áudio e vídeo dá origem ao ES (stream elementar). Nota-se que o encoder, responsável por um serviço, formará um TS (Transport Stream), com inúmeros pacotes de vídeo, áudio e referência de sincronismo PCR (Program Clock Reference).

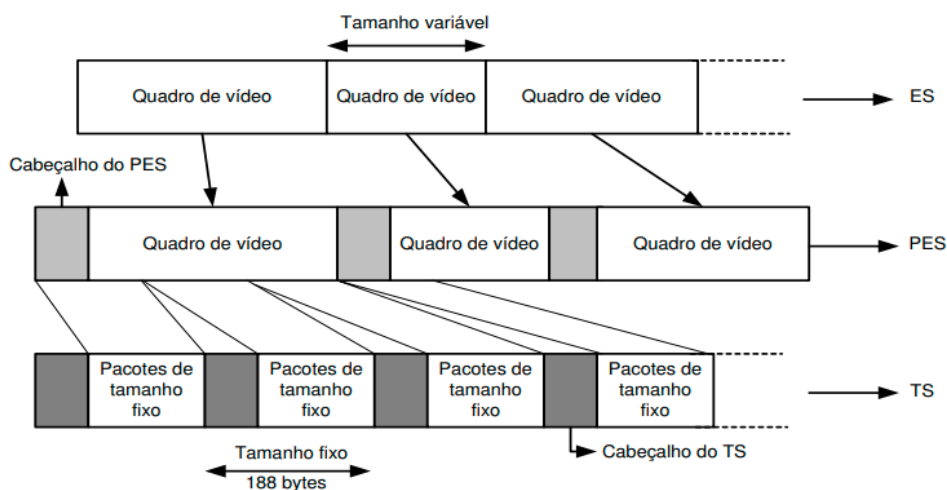
As informações de vídeo são transmitidas conforme a padronização MPEG-4, que especifica os codificadores AVC (Advanced Vídeo Coding), sendo padronizado em [7] e [17]. Como o sistema brasileiro ISDB-Tb possibilita a recepção one-seg (dispositivos móveis) e full-seg (televisores), isso implica na transmissão de dois formatos, sendo consideravelmente grande a diferença de qualidade e resolução entre eles. As informações de áudio são transmitidas conforme a padronização MPEG-4 que especifica os codificadores ACC (Advanced Audio Coding), sendo padronizado em [8] e [18]. Possibilitando a transmissão em multicanal (5.1) ou em modo estéreo para full-seg (televisores), e apenas em estéreo para one-seg (recepção móvel). As informações privadas (legendas), tem sua estrutura padronizada no SBTVD de acordo com a norma [19], podendo ser específica para cada emissora.

Dependendo do conteúdo instantâneo de vídeo e áudio, a codificação das informações requer estruturas de pacotes de tamanho variável para comportar o vídeo e áudio codificados. Assim, o ES (Fluxo Elementar) de vídeo e áudio é empacotado formando o PES (Pacote de Fluxo elementar), possuindo tamanho variável, limitado a 64Kbytes, considerando a estrutura do cabeçalho por, no mínimo, 6bytes [16]. Assim, é no campo de cabeçalho opcional que estão as informações das marcas PTS (Presentation Time Stamps) e DTS (Decode Time Stamps) utilizadas pelo decoder para realizar a decodificação e apresentação dos quadros de forma correta [20].

1.3. FORMAÇÃO DO FLUXO TS

Segundo [20], o objetivo da camada de transporte MPEG é prover a multiplexação de diversos programas em um único fluxo de dados. No intuito de atingir tal objetivo, os pacotes PES são divididos em estruturas de pacotes menores com comprimento fixo. A partir do pacote PES, são formados pacotes de comprimento de 188 bytes, com 184 bytes de payload (carga útil) e quatro bytes de cabeçalho (header). Estes pacotes são denominados de Transport Stream Packets, e formam o fluxo TS. A figura 2 apresenta as estruturas dos ES, PES e TS.

Figura 2.2: Formação do ES, PES e TS

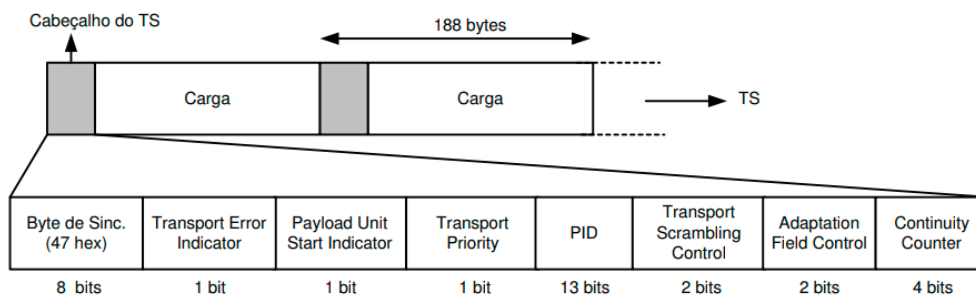


Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

1.4. PACOTES TS

Analisando mais a fundo um pacote TS, podemos destacar a identificação do pacote, um campo formado por 13 bits, descrito como PID (Packet Identifier), e para indicar o início de cada pacote tem-se o byte de sincronismo, ambas as informações estão contidas no cabeçalho do TS, conforme contempla a Figura 2.3.

Figura 2.3: Formação do cabeçalho do TS.



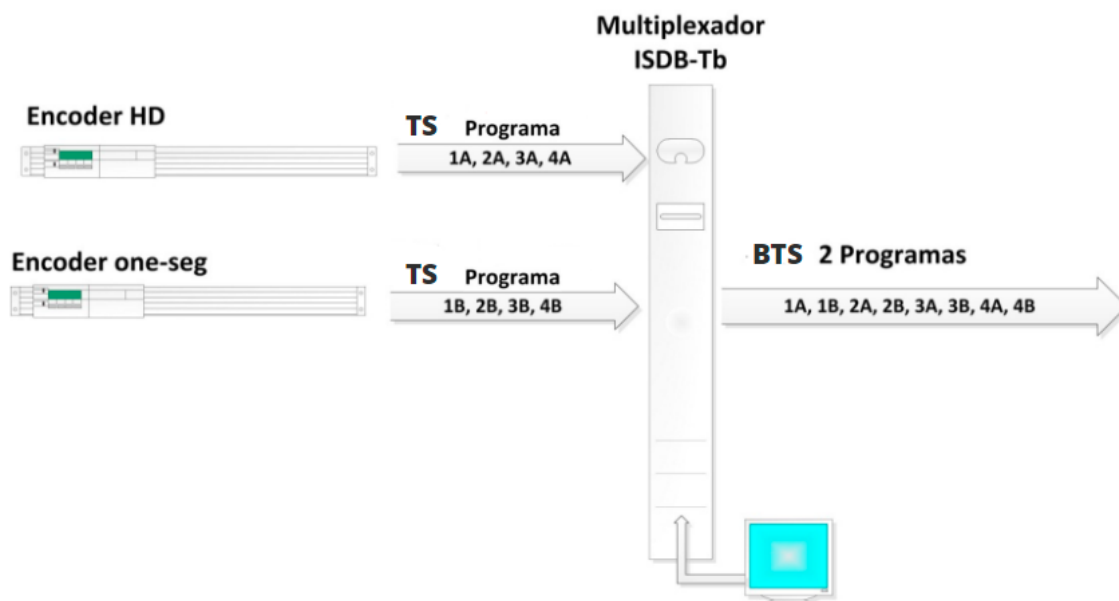
Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

A primeira parte do cabeçalho do pacote apresentado na figura 2.3 é utilizado pelo receptor na decodificação do sinal. A segunda parte Transport Error Indicator possui apenas um bit, se apresentado nível lógico baixo (0) pode-se afirmar que o pacote TS não tem erro de bit, caso apresente nível lógico alto (1) deve-se considerar um erro no pacote TS de ao menos um bit. No que diz respeito ao Payload Unit Start Indicator, sendo a terceira parte do cabeçalho apresentado na figura 2.3 possuindo apenas um bit, quando o mesmo assumir o valor zero, indicará um pacote nulo, caso apresente nível lógico alto (1), estará indicando o início de uma nova seção PSI (Program Specific Information) ou o início de um novo pacote PES (Pacote de Fluxo Elementar). Transport Priority está diretamente relacionado a prioridade dos pacotes no processo de decodificação, quando apresentar nível lógico alto (1) assume a prioridade em relação aqueles que tem o nível lógico baixo (0). O parte dedicada ao PID contém uma palavra de 13 bits que identifica o pacote TS. Pacotes que transportam em seu payload o mesmo tipo de informação (como áudio ou vídeo, por exemplo) possuem o mesmo PID. Assim, o PID dos pacotes de vídeo é diferente do PID dos pacotes de áudio. A sexta parte, Transport Scrambling Control indica se o pacote de TS possui ou não embaralhamento, ou seja, se o conteúdo transportado sofreu algum tipo de criptografia. A penúltima parte do cabeçalho, Adaptation Field Control possui dois bits e indica a existência de um campo de adaptação entre o cabeçalho e o payload. E por fim, Continuity Counter, um contador que identifica a perda ou repetição de pacotes [16] [20].

1.5. SISTEMA DE MULTIPLEXAÇÃO ISDBT-TB

No âmbito do sistema de codificação, um programa do TS consiste em um conjunto de ES sincronizados através do sinal de PCR, que por sua vez, são gerados por seus respectivos codificadores nos pacotes de dados, e são utilizados pelos decodificadores. No processo de multiplexação, se faz necessário atualizar os PCR transmitidos nos pacotes TS's multiplexados uma vez que o próprio processo de multiplexação altera o espaçamento entre os pacotes que transportam o PCR, a utilização de referências transportadas no TS e o PCR, dessa maneira o PCR possibilita a sincronização do sistema de codificação composto por encoder e decorder. Deve-se garantir que a ordem de envio dos pacotes de cada TS não seja alterada, a figura 2.4 ilustra o funcionamento do esquema de multiplexação de TS, que caracteriza o padrão de transmissão de TV Digital [20].

Figura 2.4: Esquema de multiplexação de TS



Fonte: Acervo do autor (2022)

A formação do BTS (Broadcast Transport Stream) na saída do multiplexador, deve ser adequado para configurar a rede de radiodifusão ISDB-Tb, através de informações de controle que são adicionadas no multiplexador ISDB-Tb. O BTS é um fluxo composto por pacotes de tamanho de 204bytes, isso se dá pelo acréscimo de 16 bytes a cada pacote TS, sendo, 8 bytes de informação utilizados para indicar para qual camada hierárquica o pacote será destinado, pelo fato do sistema de TV Digital estar baseado na transmissão das camadas hierárquicas

(A, B e C), dessa forma, o quadro de multiplexação determina a ordem na qual os pacotes devem ser entregues ao transmissor [22]. Os outros 8 bytes de paridade, que podem ser utilizados para proteção contra erros [22]. A taxa de transmissão do BTS é fixa, sendo igual a quatro vezes a taxa de amostragem usada na IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), utilizada na geração do sinal OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que é dada através da seguinte equação

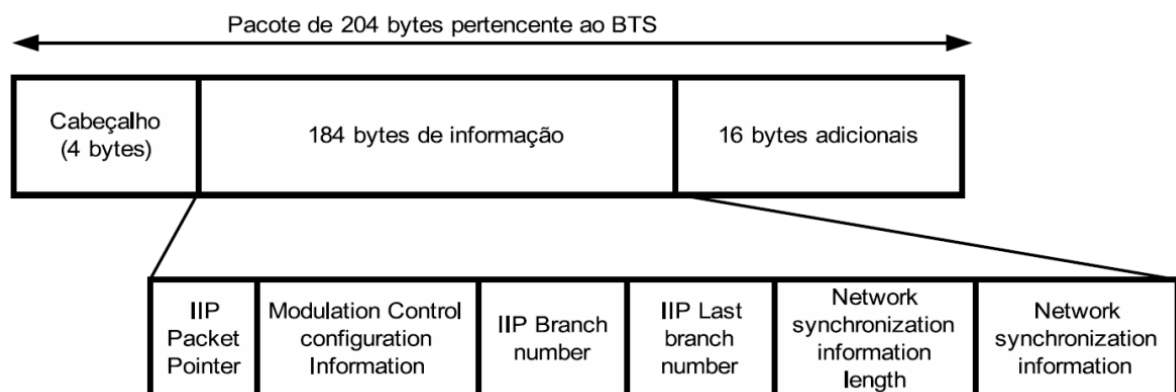
$$TaxaQuadrosMux = 4 \times \left(\frac{512}{63}\right) = 32,5079365 \text{ Mbps [20]}$$

Nesse sentido, são inseridos pacotes nulos durante a geração do quadro de multiplexação, para que essa taxa seja mantida constante, independentemente das configurações de transmissão. Logo esses pacotes nulos são descartados pelo transmissor [20]. Isso significa que no fluxo de BTS existem as informações de vídeo áudio e sincronismo dos diversos programas TS multiplexados, informações de controle e pacotes nulos para o preenchimento da taxa de saída fixa do fluxo.

1.6. PACOTE IIP

O IIP (ISDB-T Information Packet) é um pacote do fluxo BTS que carrega todas as informações dos parâmetros de transmissão do sistema de TV Digital. É interessante transmitir o IIP sempre na mesma posição dentro do quadro de multiplexação, sendo válido ressaltar, que a cada quadro de multiplexação, deve ser enviado um pacote IIP. A figura 2.5 contempla a estrutura do IIP e as informações dentro de cada campo.

Figura 2.5: Estrutura de formação IIP e seus campos de formação



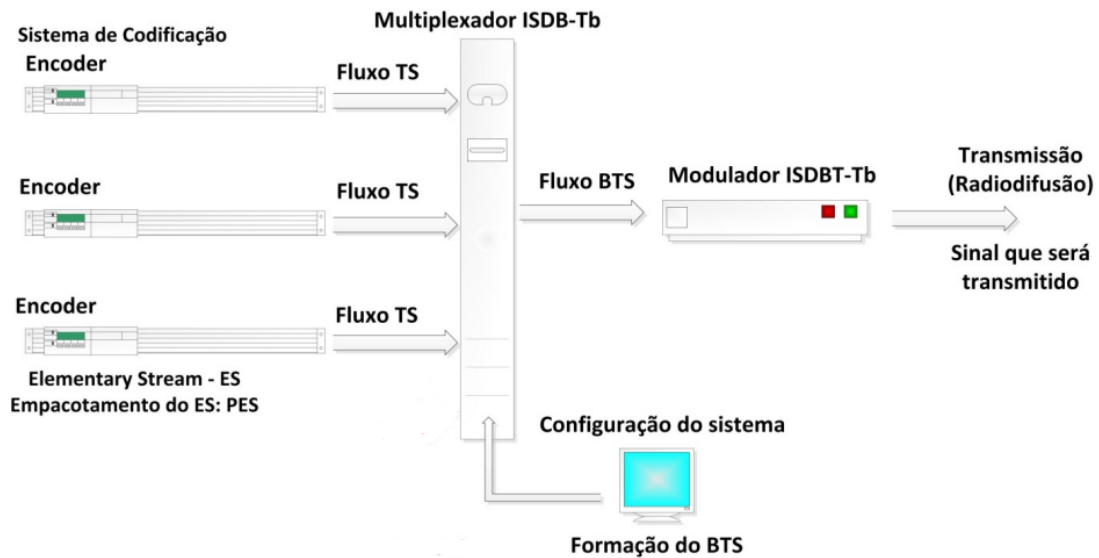
Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

O primeiro campo, IIP Packet Pointer indica quantos pacotes faltam para o início do próximo quadro de multiplexação. O campo Modulation Control Configuration Information possui as informações relativas ao sistema de transmissão ISDB-Tb, como o modo de operação do sistema (modo 1, modo 2 ou modo 3), a taxa do intervalo de guarda utilizada pelo sistema OFDM, informações para auxílio de sincronização do quadro OFDM e inúmeras considerações a respeito das TMCC (Transmission Multiplexing Control and Configuration). Deve-se considerar, que no IIP são encontradas informações para controle e funcionamento das redes de frequência única, configurando todo o sistema de rede SFN (Network Synchronization Information) através do multiplexador ISDB-Tb, distribuindo seu BTS para diversas estações SFN, caso haja esse tipo de operação na rede. como atraso máximo (Maximum Delay), Time_offset, polaridade do Time_offset, ou seja, todas as informações de controle de sincronização para redes SFN estão no campo Network Synchronization Information. Os parâmetros e sintaxe do pacote IIP devem ser de acordo com [23] [24] [25] considerando os parâmetros de transmissão em redes SFN. Assim, o modulador identifica o pacote IIP no BTS e extrai dele os seus parâmetros de configuração. Estes parâmetros são alocados e transmitidos em subportadoras especiais do sistema OFDM, denominadas de subportadoras TMCC. Logo, a ação de montagem do pacote IIP e composição do BTS no multiplexador, em conformidade com os parâmetros de transmissão do sistema e operação do modulador são essenciais para o sucesso da transmissão de sinais de TV Digital via radiodifusão.

1.7. FUNÇÃO DO MUX

O sistema de multiplexação ISDB-Tb pode ser representado pela ação do multiplexador na cadeia de TV Digital.

Figura 2.6: Diagrama do sistema de TV Digital



Fonte: Acervo do autor (2022)

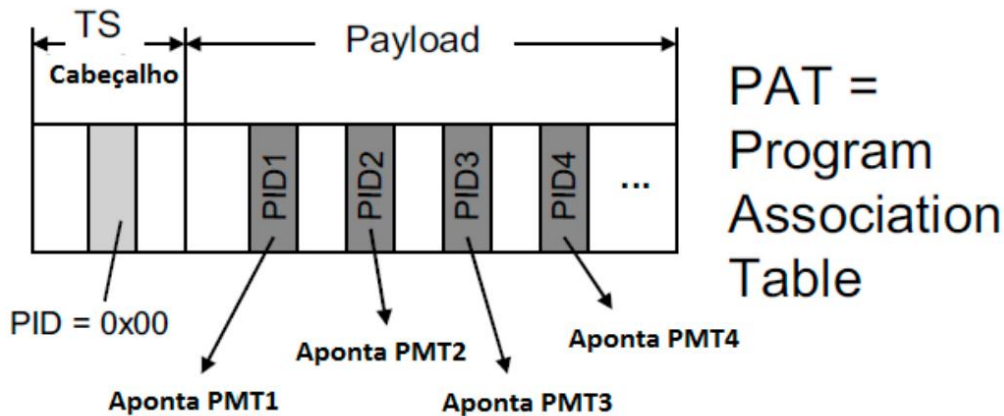
Conforme exemplificado na figura 2.6, o multiplexador, além da multiplexação dos sinais de TS vindos do sistema de codificação, constrói um fluxo adequado para a radiodifusão, coerente com a largura de banda com o canal de TV (6MHz). Nesse âmbito, a taxa do sinal a ser transmitido depende de inúmeros fatores, os quais o BTS está preparado para o Broadcasting, pois carrega configurações do sistema de TV Digital, como a modulação digital utilizada, configuração de códigos corretores de erros e parâmetros de transmissão.

1.8. TABELAS DO SISTEMA

Na etapa de transmissão, mais especificamente na configuração do multiplexador, onde são denominadas as informações de controle e adicionadas ao fluxo BTS, deve-se informar a configuração do sistema de TV Digital, de forma que o receptor possa demodular e demultiplexar os diversos programas transmitidos. Dessa maneira, as tabelas PSI (Program Specific Information) trazem informações específicas dos programas, e as tabelas SI (Service Information) indicam informações sobre os serviços transmitidos. As tabelas PAT (Program Association Table), se resume em uma lista de PID's que relacionam todos os programas do fluxo. Dessa forma, tem-se um PID para cada programa, apontando para os pacotes que contém tabelas de mapeamento de programa, denominada PMT (Program Map Table) [20]. Primeiramente é realizada a análise dos programas do fluxo (PAT) conforme a figura 2.7, em seguida, realiza-

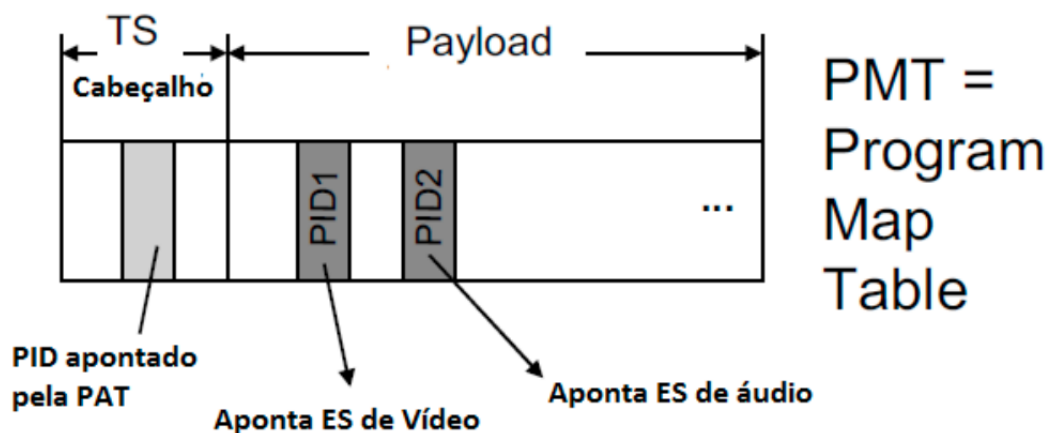
se o mapeamento dos programas (PMT) decodificando os pacotes que transportam o ES de vídeo e o ES de áudio do programa analisado assim como a figura 2.8.

Figura 2.7: entradas de PID por programa



Fonte: [16] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, (2004).

Figura 2.8: Entradas de PID por fluxo elementar



Fonte: [16] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, (2004).

As principais tabelas do sistema MPEG referente ao processo de decodificação, ou seja, que contém informações específicas sobre os programas (PSI), são as tabelas PAT e PMT. Enquanto as tabelas NIT, BIT, SDT, EIT, TOT, e ST são relacionadas aos serviços de informação (SI). A seguir, a tabela 2.1 apresenta uma descrição detalhada a respeito da formação e função das tabelas.

Tabela 2.1: Principais tabelas do sistema ISDB-Tb

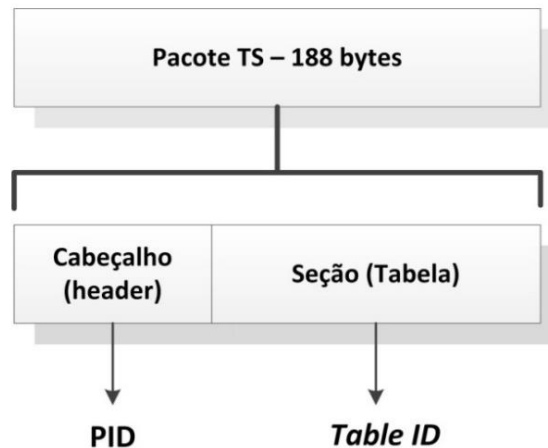
Nome da tabela	Funções
Tabela de associação de programas (PAT)	Especifica o PID do pacote TS que carrega a PMT associada a cada programa
Tabela de mapeamento de programas (PMT)	Especifica o PID do pacote TS que carrega a informação codificada de cada programa.
Tabela de informação de rede (NIT)	Carrega as informações sobre a formação do TS e sobre seu meio de transmissão, bem como parâmetros de modulação e frequência.
Tabela de informação do radiodifusor (BIT)	Especifica os parâmetros (SI) para cada uma das radiodifusoras.
Tabela de descrição de serviços (SDT)	Carrega informações que descrevem os serviços, como nome do canal, nome da emissora.
Tabela de informação de eventos (EIT)	Transporta informações em ordem cronológica sobre os eventos existentes por serviço.
Tabela de diferença de data e horário (TOT)	Especifica informações de horário, data e fuso horário, além das informações do horário de verão.
Tabela de preenchimentos (ST)	Utilizada para invalidar outras tabelas.

Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009).

As tabelas possuem uma sintaxe de formação bem definida, sendo transportadas em estruturas denominadas seções. Assim, no payload dos pacotes TS, têm-se as seções que transportam as tabelas e, portanto, possuem uma identificação de seção denominada de `Table_id`, conforme mostra a Figura 2.9. Logo, assim como os pacotes possuem uma identificação individual (PID), as seções também possuem uma identificação (`Table_id`). Segundo a observação da ABNT NBR 15603-2 [11], as tabelas, quando transmitidas, não

devem nunca ser criptografadas. Toda a informação de uma tabela é composta por uma série de seções que são divididas e distribuídas no fluxo TS.

Figura 2.9: Sintaxe de formação de tabelas



Fonte: Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-2 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 2: Estrutura de dados e definições da informação básica do SI. Ano 2007/2008

1.9. REMUX

O processo de remultiplexação permite a geração do BTS localmente ou que o BTS recebido seja modificado antes da retransmissão. Na prática, isso significa que podemos receber sinais de satélite, do ar, via micro-ondas, rádio, rede IP, cabo, fibra ótica e etc, e realizar o remux de acordo com as características desejadas na própria estação de retransmissão. Para que isso ocorra, se faz necessário realizar a filtragem dos pacotes (PID) desejados, configurar a TMCC e possivelmente configurar e carregar as tabelas SI/PSI. Essa prática, só é possível em redes MFN, ou seja, onde apenas um transmissor é responsável por determinada área de cobertura.

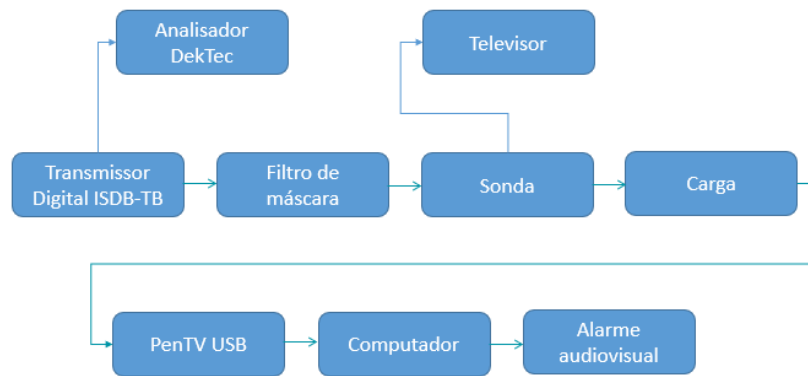
2. METODOLOGIA

2.1. ENSAIOS EM LABORATÓRIOS

Os ensaios em laboratório são necessários para realizar o remux do sinal a ser analisado, dessa forma, é possível ter o controle de todas as tabelas que serão transmitidas, assim como definir os pacotes de identificação. Com a

filtragem do PID, temos um sinal de BTS conhecido, que será utilizado como fonte de sinal de entrada no transmissor, que por sua vez está conectado a carga. Os testes foram realizados em ambiente controlado conforme o diagrama abaixo:

Figura 3.1: Diagrama de blocos dos ensaios em laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O projeto desenvolvido, realizada a captura do sinal de rádio frequência irradiado na carga, como objeto de análise. Esse processo é importante para simular falhas e validar o analisador desenvolvido.

2.2. EQUIPAMENTOS

- a. Transmissor Digital HKL EC710LP 50W
- b. DekTec DTU-245
- c. Carga resistiva TERMALINE 8201 500W
- d. Televisor Samsung T24D310LH
- e. Computador sistema operacional Linux

Figura 3.2: Visão geral dos ensaios em laboratório.

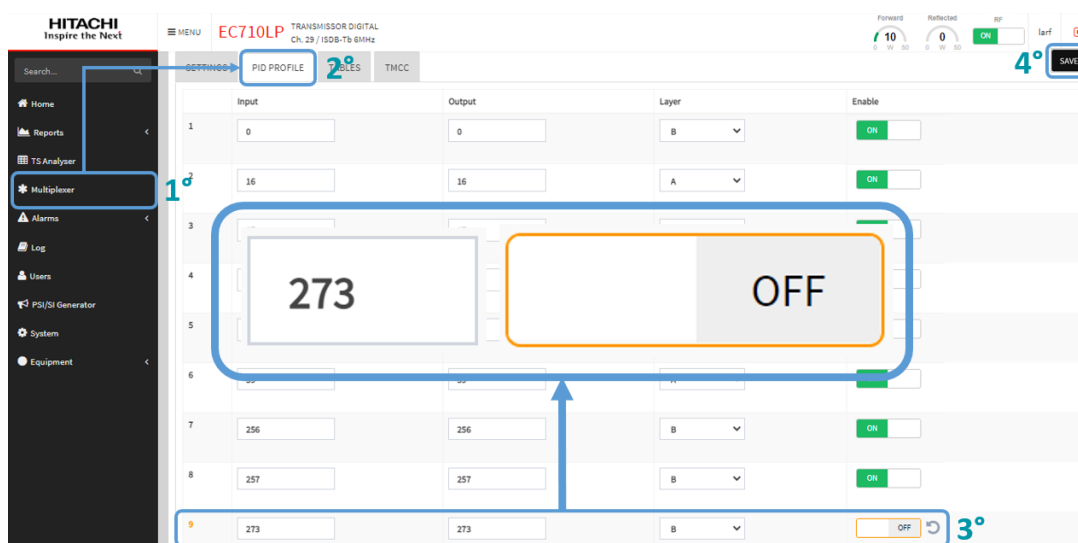


Fonte: Acervo do autor (2022)

2.3. FILTRAGEM DO PID

O transmissor HKL EC710LP Possui um MODUX embarcado que efetua a filtragem, remapeamento de PIDs (Packet Identifier) e remultiplexa o fluxo de informação ISDB-T gerando um BTS (Broadcast Transport Stream) localmente, sem a necessidade de um módulo externo para isto [28]. A figura 3.3 apresenta o passo a passo para realizar a filtragem do PID 237 (0116), isso faz com que a taxa do PID seja 0Kbps, carregando nenhuma informação, impactando diretamente o sinal transmitido no ar.

Figura 3.3: Filtragem do PID no transmissor HKL EC710LP



Fonte: Acervo do autor (2022)

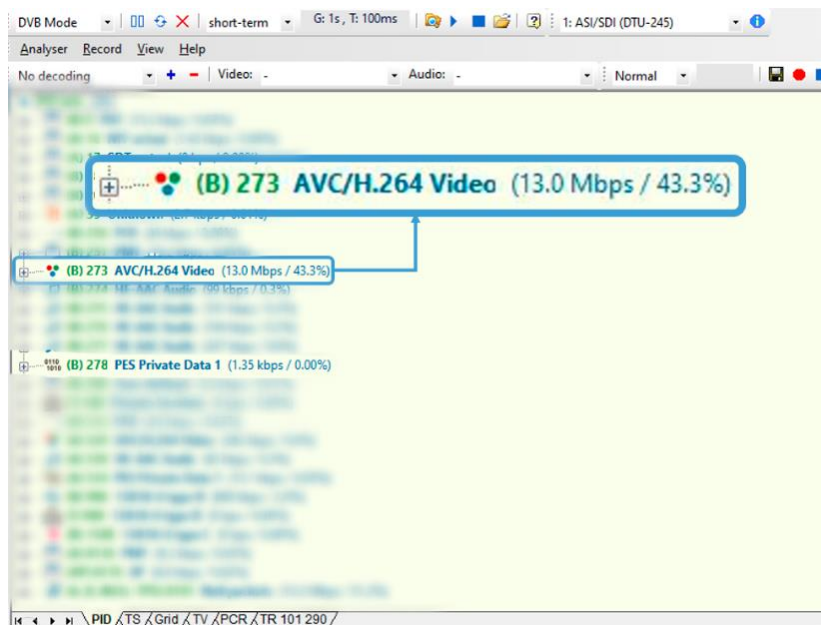
2.4. DEKTEC DTU-245

A DekTec DTU-245 é um clássico adaptador ASI, possibilitando o uso portátil conectado a um notebook, mas conveniente também ao PC ou servidor. Consolidada no mercado, é um equipamento importante para todo engenheiro de TV Digital. Adaptador USB compacto para capturar, analisar e gerar fluxos de vídeo digital ASI ou SD-SDI [27].

Para o desenvolvimento do projeto, utilizaremos uma das saídas ASI do Transmissor HKL EC710LP para alimentar a entrada da DekTec, conforme apresentado na figura 3.1, dessa forma, analisaremos o BTS gerado localmente (remux). Com as informações que a DekTec nos fornece, será possível validar a análise e monitoramento do PID do projeto desenvolvido, ou seja, ao simularmos uma falha, ambos os sistemas devem reconhecê-la e acusá-la.

A figura 3.4 apresenta a análise da DekTec em tempo real e em uma condição ideal para o funcionamento do PID de vídeo HD 273 (hexadecimal 0111) e do PID de closed caption HD 278 (hexadecimal 0116), considerando que os parâmetros do sistema foram configurados para taxas dessa magnitude.

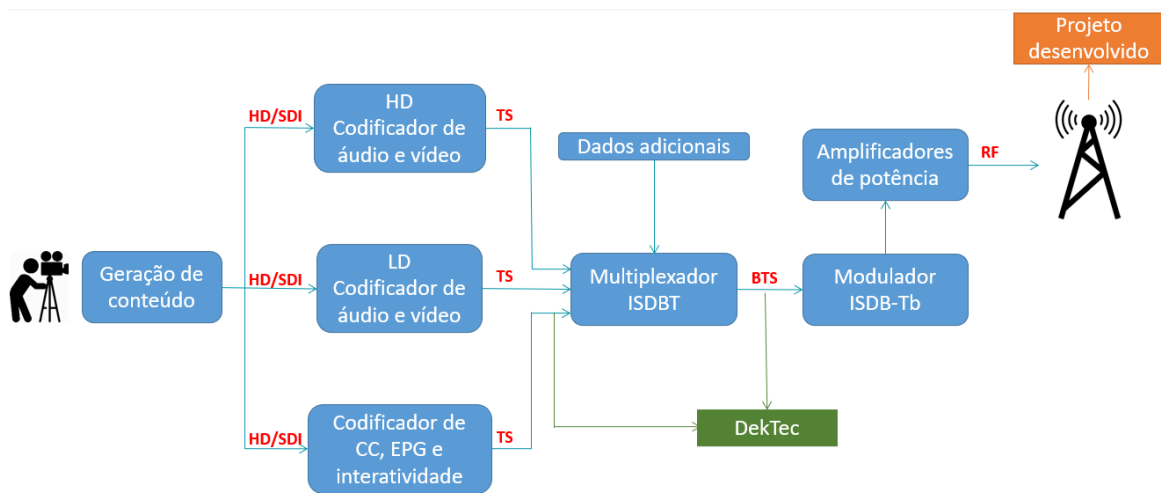
Figura 3.4: Informações de PID através da DekTec DTU-245 antes da falha



Fonte: Acervo do autor (2022)

É válido ressaltar, que para o funcionamento do sinal de TV Digital, devemos considerar as três componentes: transmissão, o canal e os receptores. A DekTec DTU-245, realiza a análise do PID na componente da transmissão, sem considerar o canal e a recepção. O projeto desenvolvido, pretende realizar a análise do PID, no ponto de recepção, dessa forma, a análise leva em consideração todas as componentes do sistema, conforme representado na figura 3.5.

Figura 3.5: pontos de análise DekTec e projeto desenvolvido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.5. ESTRUTURA DO ANALISADOR

O projeto desenvolvido, que visa analisar e monitorar os pacotes de identificação (PID) propôs uma pesquisa do sistema brasileiro de televisão digital (SBTVD), ISDB-Tb, que é baseado do padrão Japonês ISDB-T [4].

Demandou também a pesquisa da camada de transporte MPEG, para a formação do fluxo de transporte stream (TS) que realiza a multiplexação de inúmeras informações em um único fluxo de dados [20].

A estrutura proposta faz a busca de um sinal UHF, realiza a demultiplexação do transport stream (TS), para uma análise em tempo real do pacote de identificação (PID). O PID a ser analisado deve ser definido de acordo com o sinal que foi sintonizado, sendo assim, é importante conhecer as tabelas do sistema e os pacotes de identificação antes da análise e do monitoramento.

Dessa forma, é possível obter resultados em tempo real, em condições factuais, sendo aplicável para qualquer emissora de TV Digital.

Para o desenvolvimento do projeto, a captura do sinal UHF é realizada com o auxílio de um penTV USB, um computador com o sistema operacional Linux, a instalação de aplicativos e utilitários da API de DVB do Linux, como dvbtune responsável pelo scan dos canais com largura de banda de 6MHz no espectro de frequência, dvbsnopp responsável pela decodificação e varredura do canal selecionado, e o executável elaborado na linguagem shell script.

2.6. ESTRUTURA DO ALGORITMO

Através do terminal Linux é realizada a busca de canais, identificamos o canal a ser analisado, realizamos a filtragem do mesmo. Esse procedimento é indispensável, pois diferentes emissoras podem conter os mesmos pacotes de identificação (PID). Para garantir uma análise assertiva, recomenda-se armazenar apenas o canal desejado.

Também no terminal Linux, acontece a decodificação das informações do fluxo digital do canal previamente filtrado. No primeiro momento, a tabela PAT é encontrada, listando as PMTs, dessa forma, podemos visualizar a descrição dos serviços, facilitando a identificação da emissora. Além do PID de vídeo e PID de áudio respectivamente, o que facilitaria uma análise sem um PID previamente identificado.

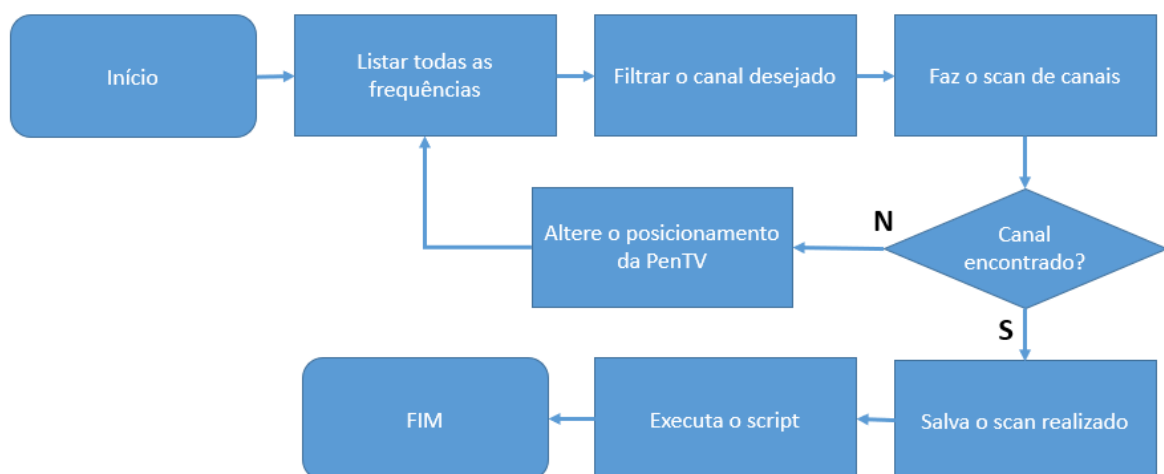
Para exemplificar, vamos considerar a análise do PID de vídeo. Através do script, limitamos a perda de pacotes do PID, afim de realizar dois tipos de análise. A primeira análise consiste em verificar se o PID é existente no sinal, se não for encontrado, dá-se início a contagem, se por um tempo determinado o PID não for encontrado, o alarme é acionado. A segunda análise consiste em verificar se existem informação dentro do PID, analisando a taxa do mesmo. Caso a taxa menor ou igual a 1Kbps, dá-se início a contagem, se por um tempo determinado o pacote analisado tiver essas condições, o alarme é acionado.

2.7. FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO

Para alcançar resultados satisfatórios, se faz necessário respeitar um fluxo de processamento, isso garante que o canal que está sendo analisado é o correto.

O primeiro passo é listar todas as frequências, em seguida, é preciso filtrar o canal desejado, garantido uma busca de canais assertiva. Caso o canal não seja encontrado, pode ser necessário alterar o posicionamento da antena UHF PenTV, e refazer todo o processo, caso o canal tenha sido encontrado, o próximo passo é salvar a busca de canais, esse processo é fundamental, pois o script executável busca as informações que foram salvas corretamente no dvbtraffic. E por fim, realizar a execução do script, dando início a análise e monitoração do PID, conforme a figura 3.6 representa.

Figura 3.6: Fluxograma do processamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.8. ALARME ÁUDIO VISUAL

Caso a contagem de pacotes perdidos for maior que o limite esperando, então começa a contar um alarme, enviando um sinal elétrico para a porta serial (RS232(P4,P5)) da CPU. Esse pulso, é enviado para a base do transistor BC548, que é utilizado para realizar o chaveamento eletrônico, dessa forma, a fonte externa de 12V passa alimentar a carga que está conectada no coletor do

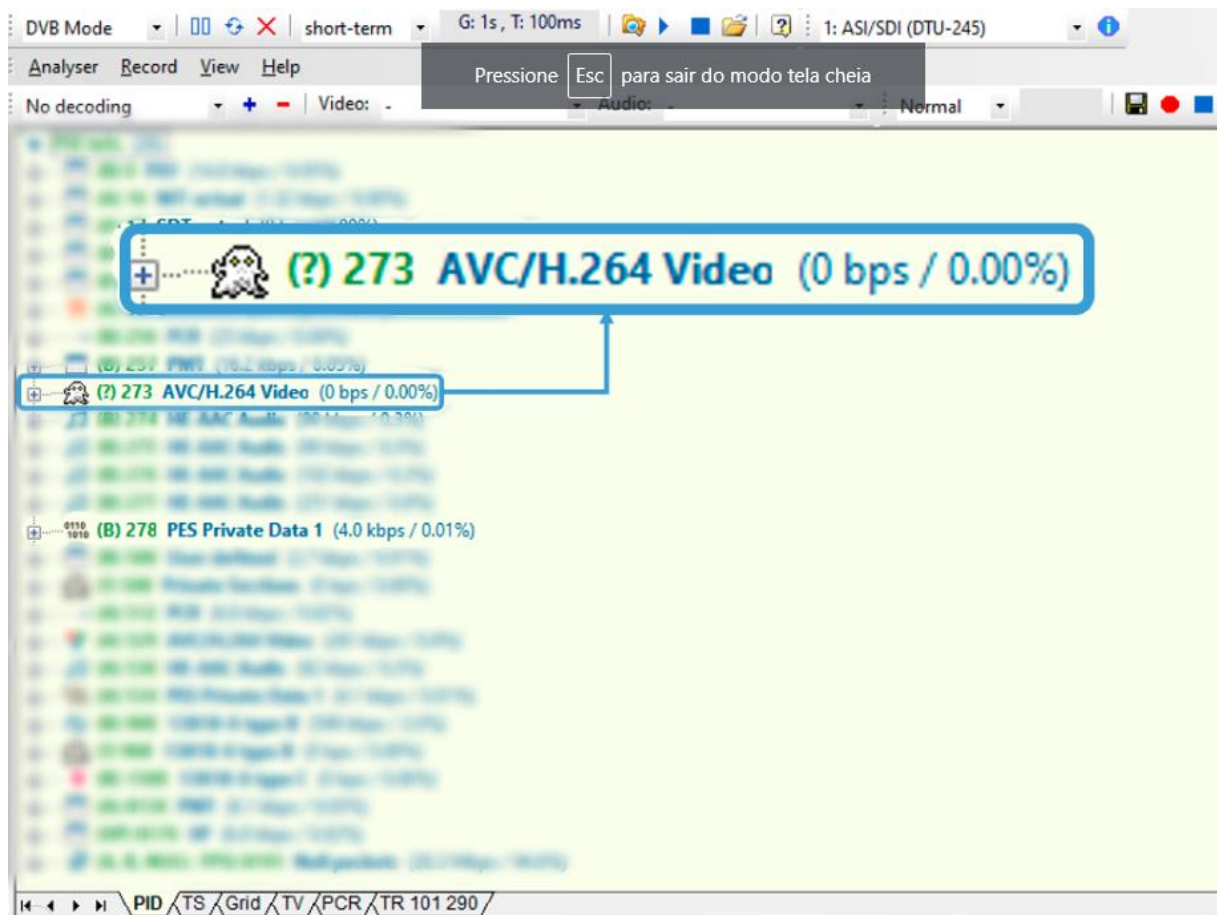
transistor. Sendo assim é possível disponibilizar mais de um ponto para monitoração do alarme áudio visual, que é composto por um led e um buzzer.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. ANÁLISE DE VÍDEO

A figura 4.1 apresenta a análise da DekTec sendo realizada em tempo real, após a simulação da falha citada no tópico 3.3, note que a taxa do PID 273 (0111) está zerada, e o mesmo se encontra fora das camadas hierárquicas. Já o PID 278 (0116), conforme o esperado segue com sua taxa útil ativa.

Figura 4.1: Informações de PID através da DekTec DTU-245 após a falha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na figura 4.2, é possível perceber que o projeto desenvolvido, também detecta o momento da simulação da falha exemplificada no tópico 3.3. A análise e o monitoramento do PID 273 (0111) representam na cor verde um

status “OK”, onde temos a presença do PID e da taxa, a cor vermelha representa a falta de uma dessas duas condições, sendo assim, o sinal do ar certamente estará sendo impactado negativamente, com o vídeo travando ou até mesmo sem vídeo.

Figura 4.2: Análise e monitoramento do PID 273 (0111) através do projeto.

```

>>> OK - TAXA: 12312kbit sex nov 4 21:20:43 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:44 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12395kbit sex nov 4 21:20:44 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:46 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12819kbit sex nov 4 21:20:46 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:47 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13101kbit sex nov 4 21:20:47 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:49 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12895kbit sex nov 4 21:20:49 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:50 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13071kbit sex nov 4 21:20:50 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:52 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12925kbit sex nov 4 21:20:52 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:53 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13047kbit sex nov 4 21:20:53 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:55 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13187kbit sex nov 4 21:20:55 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:56 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13314kbit sex nov 4 21:20:56 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:58 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12944kbit sex nov 4 21:20:58 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:59 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12889kbit sex nov 4 21:20:59 -03 2022
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:01 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:03 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:04 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:06 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:07 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:09 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:10 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:12 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:13 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:15 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:16 -03 2022 <<<

```

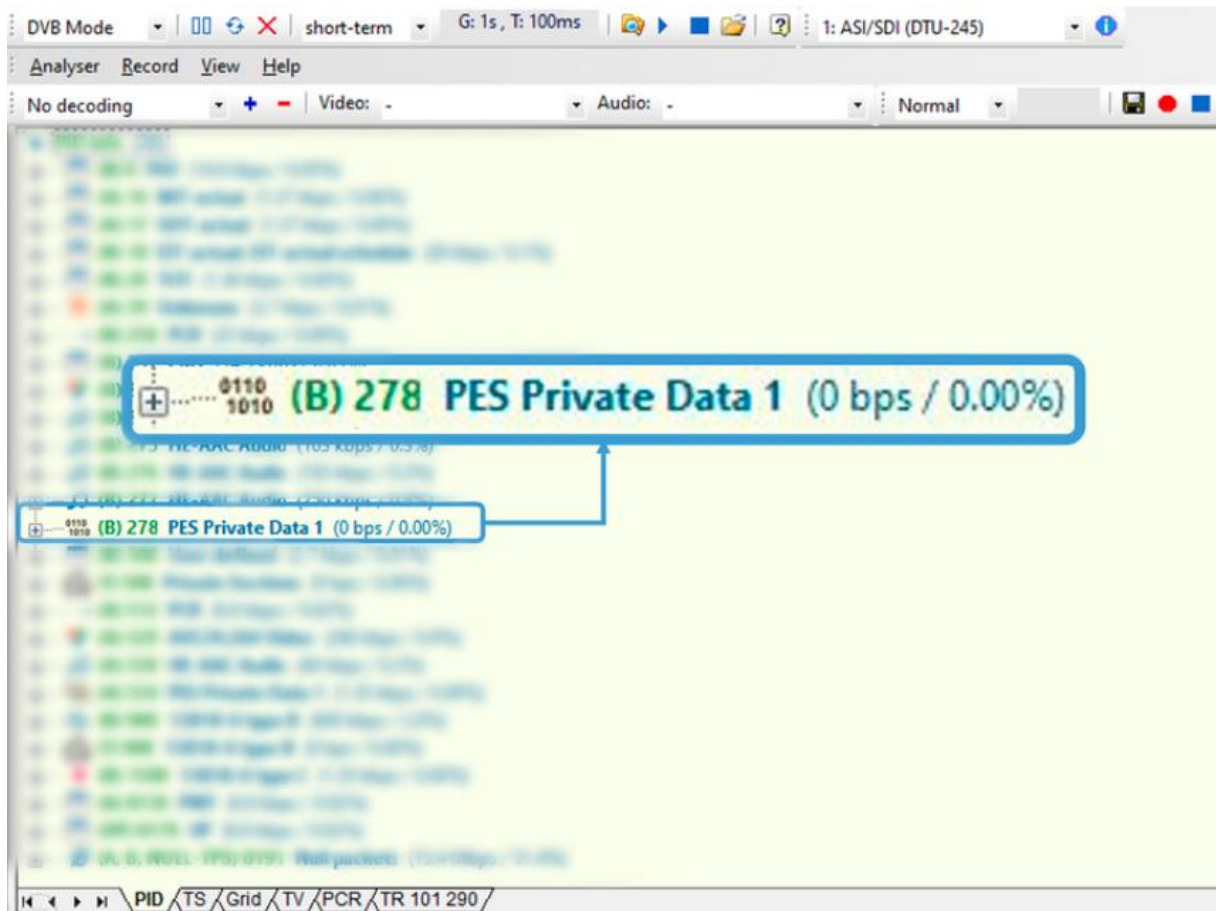
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2. ANÁLISE DE CLOSED CAPTION

A figura 4.3 apresenta a análise da DekTec sendo realizada em tempo real, enquanto era realizada uma simulação de falha semelhante à do tópico 3.3,

desta vez, o PID filtrado foi o 278 (0116), sendo assim, podemos observar a falta de informação dentro do PID.

Figura 4.3: Informações do PID 278 através da DekTec DTU-245 após a falha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Neste caso, é preciso ter cautela ao gerar o alarme de falha, isso porque a forma que é realizada a compressão para os sinais de áudio e vídeo são diferentes em virtude da natureza da informação. Existem momentos durante a programação transmitida, em que não temos a presença do áudio (silêncio), nesse momento, o closed caption também estará sem informação, tendo em vista que realiza no vídeo a legenda simultânea do áudio. É válido pontuar que o PID deve sempre existir, mas a informação certamente será variada.

Para isso, é necessário realizar um buffering dos pacotes coletados. Caso a falta de informação persista após o tempo determinado, o sistema de alarme deve acusar continuamente, até que seja reestabelecido.

Na figura 4.4, é possível perceber que o projeto desenvolvido, também detecta o momento da simulação da falha citada anteriormente. A análise e o monitoramento do PID 278 (0116) representam na cor verde um status “OK”, onde temos a presença do PID e da taxa, a cor vermelha representa a falta de uma dessas duas condições.

Figura 4.4: Análise e monitoramento do PID 278 (0116) através do projeto.

```

>>> sex nov 4 22:27:45 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:45 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:46 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:27:46 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:48 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:27:48 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:49 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:49 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:51 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:27:51 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:53 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:27:54 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:54 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:56 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:27:57 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:27:57 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:59 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:00 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:28:00 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:02 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:03 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 5kbit sex nov 4 22:28:03 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:05 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:06 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:28:06 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:08 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:28:08 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:09 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:28:09 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:11 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:28:11 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:12 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:14 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:15 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:17 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:18 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:20 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:21 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:23 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:24 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:26 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:27 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:29 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:30 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:32 -03 2022 <<<

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os testes realizados em laboratório, foi possível observar um resultado positivo tanto na análise do PID, quanto no monitoramento do mesmo. A

simulação de falhas, nos proporcionou a validação do projeto, podendo observar a falta do PID, na DekTec DTU-245, no sinal do ar através da TV, e o mais importante no projeto desenvolvido, o que garante uma confiabilidade considerável para o projeto.

O projeto não se limita a apenas uma emissora TV Digital, com os conhecimentos das tabelas do sistema ISDB-Tb de outra emissora, é possível realizar a demodulação do canal e a varredura do PID previamente definido.

Para os próximos passos, pretendo realizar a listagem de todos os PIDs, dessa forma, não será necessário o auxílio da DekTec DTU-245 para identificar as tabelas do sistema. Além de aferir a viabilidade da análise e monitoramento de mais de um PID de maneira simultânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, H. S.; SOUZA, C. C.; FEITOSA, D.F. TV Digital e Educação Básica: a televisão como meio pedagógico, a escola como meio de comunicação. 1 ed. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2019. Disponível em: < <https://sejadigital.com.br/nossahistoria/livros/livro-tv-digital-o-desligamento-do-sinal-analogico-e-a-adaptacao-dos-telespectadores/> >. Acesso em: 19 mai. 2022.
- [2] BRASIL, Norma Complementar n. 01/2006, de 27 de junho de 2006. Recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão. Disponível em:< <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/normas-do-mc/442-portaria-310#item5.1> >. Acesso em: 19 mai. 2022
- [3] BRASIL. Decreto nº 4.901, de 26 de Novembro de 2003. Institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital – SBTVD, e dá outras providências. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 de Nov. 2003. Seção 1. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4901.htm >. Acesso em: 23 mai. 2022

- [4] BRASIL, Decreto n. 5.820, de 29 de junho de 2006. Implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre - SBTVD-T na plataforma de transmissão e retransmissão de sinais de radiodifusão de sons e imagens. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5820.htm >. Acesso em: 23 mai. 2022
- [5] ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1: 2000 – “Information technology – Generic Coding of moving pictures and associated audio information: Systems.”
- [6] Norma Brasileira – ABNT NBR 15601 (Televisão Digital Terrestre – Sistema de transmissão). Ano 2007/2008.
- [7] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-1 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 1: Codificação de vídeo. Ano 2007/2008.
- [8] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-2 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 2: Codificação de áudio. Ano 2007/2008.
- [9] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-3 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 3: Sistemas de multiplexação de sinais. Ano 2007/2008.
- [10] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-1 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 1: SI do sistema de radiodifusão. Ano 2007/2008.
- [11] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-2 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 2: Estrutura de dados e definições da informação básica do SI. Ano 2007/2008.
- [12] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-3 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 3: Sintaxes e definições de informação estendidas do SI. Ano 2007/2008.
- [13] Sociedade dos Engenheiros de Cinema e Televisão dos Estados Unidos. Disponível em: < <https://www.smpte.org/> >. Acesso em: 29 mai. 2022.
- [14] "ST 292-1:2018 - SMPTE Standard - 1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface," in ST 292-1:2018 , vol., no., pp.1-20, 25 April 2018, doi: 10.5594/SMPTE.ST292-1.2018.
- [15] "ST 259:2008 - SMPTE Standard - For Television — SDTV - Digital Signal/Data — Serial Digital Interface," in ST 259:2008 , vol., no., pp.1-18, 29 Jan. 2008, doi: 10.5594/SMPTE.ST259.2008.

- [16] Video and Audio Broadcasting Technology A Practical Engineering Guide Third Edition: Autor: Walter Fischer Digital
- [17] ITU-T H.264 / ISO/IEC 14496-10 – “MPEG-4 Part 10: Advanced Video Coding.”
- [18] ISO/IEC 14496-3:2001 – “Audio Lossless Coding”
- [19] Norma Brasileira – ABNT NBR 15606-1 (Televisão Digital Terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radio difusão digital) – Parte 1: Codificação de dados. Ano 2007/2008.
- [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb”, Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL, 2009).
- [21] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, 2004. Disponível em < <https://vdoc.pub/download/digital-television-a-practical-guide-for-engineers-146prg12n1ug> >. Acesso em 29 mai. 2022.
- [22] ARIB Standard STD-B31, "Transmission system for digital terrestrial television broadcasting" ver, 1.6, 2007
- [23] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-1 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 1: Sistema de transmissão. Ano 2007/2008.
- [24] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-2 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 2: Codificação de vídeo, áudio e multiplexação. Ano 2007/2008.
- [25] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-3 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 3: Multiplexação e serviço de informação (SI). Ano 2007/2008.
- [26] DVBSNOOP – A dvb stream analyser tool. Disponível em: < <https://dvbsnoop.sourceforge.net/> >. Acesso em: 13 out. 2022.
- [27] DekTec DTU-245 – Analisador entrada + saída FantASI ASI/SD-SDI para USB-2. Disponível em < <https://www.dektec.com/Products/Usb/DTU-245/> >. Acesso em 08/11/2022.
- [28] Transmissor E-Compact Baixa potência – EC710LP. Disponível em < https://www.hitachi-linear.com.br/products/e-compact_lp.html >. Acesso em 08/11/2022.