



SOFTWARE PARA OTIMIZAR O PROCESSO DE ANÁLISE DE NÃO CONFORMIDADES DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO SBTVD

Osorio Ferreira do Nascimento Junior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Emanuel Negrão Macêdo

Alan Marcel Fernandes de Souza

Belém

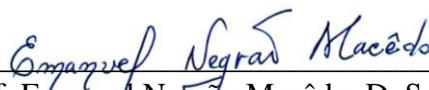
Outubro de 2022

**SOFTWARE PARA OTIMIZAR O PROCESSO DE ANÁLISE DE NÃO
CONFORMIDADES DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO SBTVD**

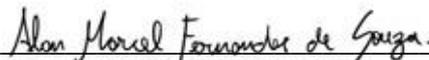
Osório Ferreira do Nascimento Júnior

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

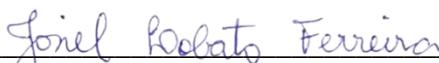
Examinada por:



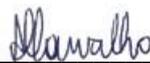
Prof. Emanuel Negrão Macêdo, D. Sc.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Alan Marcel Fernandes de Souza, D. Eng.
(IFPA-Coorientador)



Prof. Josiel Lobato Ferreira, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



Prof. André Augusto Pacheco de Carvalho, D. Eng.
(IFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

OUTUBRO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Júnior, Osório Ferreira do Nascimento, 1987-
Software para otimizar o processo de análise de não
conformidades do sinal de TV digital no padrão SBTVD /
Osório Ferreira do Nascimento Júnior - 2022.

Orientadores: Emanuel Negrão Macêdo
Alan Marcel Fernandes de Souza

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2022.

1. Software. 2. Sistemas Digitais. 3. Televisão I.
Título

CDD 670.42

A Deus, por tudo que me concedeu.

*Aos meus pais, por serem minha
motivação de vida em todos os aspectos.*

*A minha irmã que sempre esteve ao meu
lado.*

AGRADECIMENTOS

Dedico meus agradecimentos primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso seria possível.

À minha família, por ter me apoiado em cada dificuldade que passei. Em especial aos meus pais Osório e Marta, pela educação e lição de vida que me transmitiram.

À minha irmã Liliandra Justamante, por sempre me aconselhar a tomar as melhores decisões quando precisei.

Aos professores da Universidade Federal do Pará – UFPA, que de alguma forma contribuíram para a minha formação, em especial ao professor Dr. Emanuel Negrão, pela disponibilidade e paciência para ajudar durante esse processo, sendo um excelente orientador e incentivador pela busca do melhor resultado sempre.

Ao professor Dr. Alan Marcel Fernandes de Souza, por disponibilizar seu tempo e todo seu conhecimento na área.

Ao professor Ms. João Carlos Silva de Oliveira, pelo incentivo e colaboração para o aprimoramento desta pesquisa.

“Faça da pedra de tropeço, um degrau de subida. Transforme cada fato negativo, em uma experiência positiva...”

(Bruce Lee)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

SOFTWARE PARA OTIMIZAR O PROCESSO DE ANÁLISE DE NÃO CONFORMIDADES DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO SBTVD

Osório Ferreira do Nascimento Júnior

Outubro/2022

Orientadores: Emanuel Negrão Macêdo

Alan Marcel Fernandes de Souza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O objetivo deste trabalho é aplicar uma metodologia capaz de criar validações avançadas do feixe de TV. A simples verificação direta dos valores binários dos feixes, embora seja capaz de identificar muitos problemas, não poderia identificar todos os tipos de erro. Além desse tipo de verificação, há diversas possibilidades de erros gerados durante a multiplexação, por exemplo, erros como inconsistências ao realizar o cruzamento de informações entre diferentes tabelas, erros devido à ordem ou à frequência em que algumas tabelas são transmitidas, erros nas informações de sincronia e dados de tempo, são casos complexos de serem identificados de forma automática.

Para realizar a verificação do feixe de TV será desenvolvido um método de automação que receberá o conteúdo transmitido pela emissora em formato de arquivo TS capturado por uma ferramenta chamada DTU-238 como entrada e executará diversos algoritmos para comparar os dados recebidos com os valores esperados definidos pela norma brasileira de TV Digital. Após a comparação o algoritmo notificará se o feixe está em discordância com o esperado, e informará quais problemas foram encontrados.

A solução resultante deverá ser utilizada por equipes de engenharia de produto ao analisar problemas em campo. Em diversas situações em que há erros na recepção dos sinais de TV, faz-se necessário a captura dos sinais transmitidos e a investigação minuciosa dos dados, verificando cada tabela do feixe. O sistema automatizado facilitará essa operação.

O resultado obtido foi de extrema relevância por conta de redução de um processo de análise, otimizado em aproximadamente 95%. O tempo de análise passou de 27-30 dias para 2-3 minutos, dependendo do tamanho do arquivo TS.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

SOFTWARE TO OPTIMIZE DIGITAL TV SIGNAL CONFORMITY PROCESS ON SBTVD STANDARD

Osório Ferreira do Nascimento Júnior

October/2022

Advisors: Emanuel Negrão Macêdo

Alan Marcel Fernandes de Souza

Research Area: Process Engineering

An important challenge is applying a methodology capable of creating advanced TV beam validations. Simply checking the beam's binary values, while able to identify many problems, could not identify all types of errors. In addition to this type of verification, there are several possibilities for errors generated during multiplexing, for example errors such as inconsistencies when crossing information between different tables, errors due to the order or frequency in which some tables are transmitted, and errors in synchrony and time data are complex cases that can be identified automatically.

To perform the verification of the TV beam, an automation method will be developed that will receive the content transmitted by the broadcaster as input and will execute several algorithms to compare the received data with the expected values defined by the Brazilian Digital TV standard. After comparison the algorithm will notify if the beam is in disagreement with the expected one and will inform you which problems were encountered.

The resulting solution should be used by product engineering teams when analyzing problems in the field. In several situations where there are errors in the reception of TV signals, it is necessary to capture the transmitted signals and thoroughly investigate the data, checking each table of the beam. The system will automate and facilitate this operation.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	4
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	4
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 - TELEVISÃO DIGITAL: DIGITALIZAÇÃO DO ELO DE TRANSMISSÃO	6
2.2 - A TRANSMISSÃO DIGITAL.....	6
2.3 - BREVE RESGATE HISTÓRICO DA TV DIGITAL.....	8
2.4 - FUNDAMENTOS DA TELEVISÃO DIGITAL.....	11
2.5 - PADRÃO BRASILEIRO DE TV DIGITAL – ISDB-TB.....	15
2.6 - CODIFICAÇÃO DE ÁUDIO E VÍDEO.....	18
2.6.1 - Padrão de compressão de vídeo H.264.....	19
2.6.2 - Padrão de compressão de áudio.....	20
2.7 - FLUXO DE BITS DAS INFORMAÇÕES DE ÁUDIO E VÍDEO.....	21
2.7.1 - System Time Clock (STC).....	23
2.7.2 - Estrutura e formação do <i>Pacote Elementary Stream (PES)</i>.....	24
2.7.3 - Estrutura e formação do <i>Transport Stream (TS)</i>.....	29
2.8 - PROGRAM SPECIFIC INFORMATION (PSI).....	32
2.9 - DESCRITORES (PSI).....	34
2.10 - ENGENHARIA DE SOFTWARE.....	36
2.10.1 - Definição.....	36
2.10.2 - Áreas da engenharia de Software.....	36
2.10.3 - Processos de desenvolvimento de Software.....	37
2.10.4 - Vantagens da engenharia de Software.....	38
2.10.5 - Projeto e implementação.....	39
2.10.6 - Teste de Software.....	39
2.10.7 - Validação e entrega do produto.....	39
2.10.8 - Manutenção de Software.....	40

2.10.9 - Processo de avaliação do Software.....	40
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO SBTVD.....	42
3.1 - AMBIENTE DO SISTEMA DE ANÁLISE DE SINAL DIGITAL (TS).....	42
3.2 - CAPTURA DO ARQUIVO TS PARA ANÁLISE.....	44
3.3 - ANÁLISE DO ARQUIVO TS.....	46
3.4 - RESULTADO DAS ANÁLISES DO TS.....	48
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 - ANÁLISE DO TRANSPORT STREAM.....	50
4.2 - ANÁLISE DO TS UTILIZANDO A METODOLOGIA.....	52
4.3 - AVALIAÇÃO DO SOFTWARE.....	54
4.3.1 - Processo de avaliação de Software.....	54
4.3.2 - Características dos avaliadores.....	54
4.3.3 - Atributos de funcionalidade.....	55
4.3.4 - Atributos de confiabilidade.....	56
4.3.5 - Atributos de usabilidade.....	57
4.3.6 - Atributos de performance.....	58
4.3.7 - Atributos de compatibilidade.....	59
4.3.8 - Atributos de segurança.....	60
4.3.9 - Atributos de manutenibilidade.....	61
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	63
5.1 - CONCLUSÕES.....	63
5.2 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÊNDICE A - DIAGRAMAS DE CASO DE USO DO SISTEMA.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Comparativo de desempenho entre sistemas A/D.....	7
Figura 2.2	Comparação entre aspectos de imagem NTSC e HDTV.....	9
Figura 2.3	Sistema de transmissão ISDB-TB.....	14
Figura 2.4	Espectro do canal de RF segmentado da banda 6MHZ.....	16
Figura 2.5	Diagrama de blocos do ISDB-T.....	17
Figura 2.6	Banco de filtro de áudio.....	19
Figura 2.7	Processo de codificação e decodificação H.264.....	20
Figura 2.8	Compressão do fluxo de bits de áudio/vídeo MPEG-2.....	21
Figura 2.9	Formação do fluxo de bits das informações de áudio e vídeo.....	22
Figura 2.10	Estrutura do pacote PES e suas seções.....	24
Figura 2.11	Formação do campo PTS.....	27
Figura 2.12	Entrada e saída das informações do pacote PES.....	29
Figura 2.13	Estrutura do Transport Stream.....	30
Figura 2.14	Estrutura genérica de uma seção PSI.....	33
Figura 3.1	Dispositivo de captura DTU-238.....	43
Figura 3.2	Tela principal do analisador.....	44
Figura 3.3	Tela principal de captura do sinal digital.....	45
Figura 3.4	Processo de gravação de um TS.....	45
Figura 3.5	Carregamento de um arquivo default XML (.nrm).....	46
Figura 3.6	Edição de um arquivo default XML (.nrm).....	47
Figura 3.7	Abrindo o arquivo TS para análise.....	47
Figura 3.8	Arquivo TS carregado no sistema.....	48
Figura 3.9	Resultado da análise do TS.....	49
Figura 4.1	Análise do TS com o Bless.....	51
Figura 4.2	Esquema hexadecimal de um cabeçalho TS.....	52
Figura 4.3	Aplicação da metodologia de análise no arquivo TS.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Relação áudio e vídeo e seus tipos de codificação.....	17
Tabela 2.2	Associação dos stream_code com seus respectivos valores.....	25
Tabela 2.3	Descrição do campo PES_scrambling_control do cabeçalho PES.....	26
Tabela 2.4	Descrição do campo PTS_DTS_flags.....	27
Tabela 2.5	Descrições previstas no campo trick_mode_control.....	28
Tabela 2.6	Valores do PID reservados para transmissão.....	31
Tabela 2.7	Modo de identificação do Payload e campo adaptativo.....	32
Tabela 2.8	Estrutura de bits das tabelas PSI.....	34
Tabela 2.9	Estrutura dos descritores PSI.....	35
Tabela 2.10	Descritores recomendados em uma transmissão.....	35
Tabela 4.1	Parâmetros de análise.....	54
Tabela 4.2	Características dos profissionais de engenharia que avaliaram o Software.....	54
Tabela 4.3	Características dos profissionais de tecnologia que avaliaram o Software.....	55
Tabela 4.4	Grau de instrução dos profissionais que avaliaram o Software..	55
Tabela 4.5	Atributo de funcionalidade e percentual de aprovação por categoria.....	56
Tabela 4.6	Atributo de confiabilidade e percentual de aprovação por categoria.....	57
Tabela 4.7	Atributo de usabilidade e percentual de aprovação por categoria.....	58
Tabela 4.8	Atributo de adequação e percentual de aprovação por categoria.....	59
Tabela 4.9	Atributo de compatibilidade e percentual de aprovação por categoria.....	60
Tabela 4.10	Atributo de segurança e percentual de aprovação por categoria.	61
Tabela 4.11	Atributo de manutenibilidade e percentual de aprovação por categoria.....	62
Tabela A.1	Especificação dos casos de uso - Capturar sinal.....	70
Tabela A.2	Especificação dos casos de uso - Iniciar gravação.....	71

Tabela A.3	Especificação dos casos de uso – Encerrar gravação.....	72
Tabela A.4	Especificação dos casos de uso – Estabelecer tempo de gravação.....	73
Tabela A.5	Especificação dos casos de uso – Selecionar diretório para processar arquivo.....	74
Tabela A.6	Especificação dos casos de uso – Abrir arquivo.....	75
Tabela A.7	Especificação dos casos de uso – Visualizar informações em árvore.....	76
Tabela A.8	Especificação dos casos de uso – Visualizar informações em hexadecimal e binário.....	77
Tabela A.9	Especificação dos casos de uso – Visualizar resultados de uma análise.....	78
Tabela A.10	Especificação dos casos de uso – Detalhar análise de dados.....	79
Tabela A.11	Especificação dos casos de uso – Filtrar análises.....	80
Tabela A.12	Especificação dos casos de uso – Mostrar tabelas analisadas.....	81

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANATEL	AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES
ATSC-T	ADVANCED TELEVISION SYSTEM COMMITTEE TERRESTRIAL
BTS	BROADCASTING TRANSPORT STREAM
COFDM	CODED ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING
COM-TV	COMISSÃO ASSESSORA PARA ASSUNTOS DE TELEVISÃO
CPQD	CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES
DIBEG	DIGITAL BROADCASTING EXPERTS GROUP
DTS	DECODE TIME STAMP
DTV	DIGITAL TELEVISION
DTTB	DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING
DVB-T	DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTRIAL
DVD	DIGITAL VERSATILE DISC
FCC	FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION
HDTV	HIGH DEFINITION TELEVISION
IDTV	INTEGRATED DIGITAL TELEVISION
IFFT	INVERSE FAST FOURIER TRANSFORMER
ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
MPEG	MOVING PICTURE EXPERT GROUP
NLL	NUMERICALLY LOCKED LOOP
NTSC	NATIONAL TELEVISION SYSTEM COMMITTEE
OPCR	ORIGINAL PROGRAM CLOCK
PCR	PROGRAM CLOCK REFERENCE
PID	PACKET IDENTIFIER
PLL	PHASE LOCKED LOOP
PSI	PROGRAM SPECIFIC INFORMATION
RF	RADIO FREQUENCY
SBTVD	SISTEMA BRASILEIRO DE TV DIGITAL

SDTV	STANDARD DEFINITION TELEVISION
SET	SOCIEDADE DE ENGENHARIA E TELEVISÃO
SDI	SERIAL DIGITAL INTERFACE
SMPTE	SOCIETY OF MOTION PICTURE AND TELEVISION ENGINEERS
STC	SYSTEM TIME CLOCK
TMCC	TRANSMISSION MULTIPLEXING CONFIGURATION CONTROL
TSP	TRANSPORT STREAM PACKET
VCEG	VIDEO CODING EXPERTS GROUP
VCXO	VOLTAGE-CONTROLLED CRYSTAL OSCILATOR
XML	EXTENSIBLE MARKUP LANGUAGE

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

Para que o ecossistema brasileiro de TV Digital tenha uma perfeita operação, faz-se necessário garantir a compatibilidade entre os equipamentos de transmissão, utilizados pelas emissoras, e os equipamentos de recepção, como TVs e *smartphones* que são usados pelos telespectadores. Essa compatibilidade, em muitas situações, não ocorre, podendo gerar interrupção do serviço por falhas na transmissão, ou erros no receptor (TECHTUDO, 2018).

Em muitas situações reais em que são identificadas falhas na recepção do conteúdo da TV, seja no áudio, vídeo ou na interatividade, é necessário bastante tempo e um grande esforço do corpo técnico para identificar a origem do problema, devido sobretudo à grande quantidade de dados binários existentes nos feixes de TV. Essas afirmações geram um problema, que no decorrer da análise dessas inconsistências, algumas marcas de televisores não estão preparadas para suportar certas irregularidades vinda das emissoras e acabam desligando, ficando inoperantes aos comandos do controle remoto e até mesmo sofrendo efeitos colaterais irreversíveis. Esse tipo de problema traz um alto custo para a empresa e ele é proporcionalmente maior com o passar do tempo, haja vista que mais usuários são afetados, gerando uma demanda maior do centro de atendimento e das assistências técnicas, além de devolução de aparelhos. Embora o problema possa estar apenas na transmissão, que envia dados inconsistentes com o sistema brasileiro de TV digital, o produtor do receptor tem sua marca afetada por gerar uma insegurança para o usuário final. Assim é de extrema importância a identificação rápida do problema, para que a emissora possa reconfigurar e/ou corrigir os seus equipamentos, e a comunicação efetiva com o usuário que fez a reclamação.

Após alguns estudos e pesquisas previamente realizadas (MENDONÇA *et al.*, 2013), geraram uma motivação para chegar à conclusão de algumas hipóteses de como seria possível automatizar esse processo de varredura de sinais para o sistema brasileiro de TV Digital, ou até mesmo qual seria o melhor método para automatização por meio de codificação e algoritmos. Deixando bem claro como essa proposta vai agregar

valores ao time de engenharia e qualidade de produtos de uma empresa do ramo de televisores ou simplesmente para uma análise pessoal.

Como pode ser observado, torna-se essencial a implementação de uma metodologia capaz de analisar todos os dados gerados pelas emissoras, garantindo assim, que todas as informações estarão de acordo com as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A aplicabilidade dessa metodologia pode ser estendida para qualquer padrão de TV Digital no mundo, pois as informações de cada norma regulamentadora serão editáveis em um arquivo XML (*Extensible Markup Language*), podendo ser alterado em situações em que surgirem alterações ou atualizações nos padrões de TV. Dessa forma, podemos desenvolver arquivos XML para diferentes padrões (ATSC, DVB – T e ISDB – T) todos baseados nas normas regulamentadoras de seus respectivos países e regiões.

Resumidamente, os arquivos XML serão usados juntamente com o arquivo TS (*Transport Stream*) gravado, e assim será realizada uma varredura nesse arquivo TS, tendo como parâmetro todas as informações contidas no arquivo XML. Podemos dizer que a melhoria desse processo será realizada através de um projeto de automação, onde um técnico responsável por analisar esses dados seja capaz de identificar as falhas, gravando os arquivos *Transport Stream* (TS) e utilizando a metodologia para abrir o arquivo com extensão (.ts), decodificar e analisar todos os dados binários nele contido. Gerando assim um relatório com todas as irregularidades que estão sendo transmitidas. Esse processo tende otimizar tempo e custo, pois as empresas terão como argumento que seus produtos estão atendendo os padrões de qualidades necessários para estarem em perfeito funcionamento.

Atualmente, conforme pesquisas realizadas em fornecedores de equipamentos para TV digital (DROUET, 2016; BERNHAUPT, 2016), existem algumas ferramentas que conseguem decodificar os arquivos TS, mas não o analisam. Um bom exemplo é o *DVB Inspector*, que é uma ferramenta desenvolvida em JAVA para exibir todas as informações contidas no TS. Não é uma ferramenta de análise, mas pode mostrar a estrutura lógica dos dados DVB SI, tabelas PSI e gráficos PCR. Também podem mostrar dados de uso da taxa de bits e suporte para carrosséis de objetos DSM-CC, teletexto e legendas. É importante ressaltar que essa pesquisa foi baseada com a utilização do software *DVB Inspector* na versão 1.15.0 (Free Software Foundation, Inc.: digitekabeltv, AM, NL) em um computador equipado com o processador da Intel Core i7-10610U, CPU 2.30 GHz, 16 GB RAM, SSD (Solid State Disk)

No entanto, o *DVB Inspector* não é uma ferramenta compatível com o SBTVD. Após muitas pesquisas realizadas (AZEVEDO, 2014; MORENO, 2014), foi verificado que não existe no Brasil, algo parecido com a metodologia proposta, que seja capaz de analisar os feixes DTV (feixes de dados que transportam o conteúdo da emissora de TV Digital) de forma automática e exibir os erros encontrados que possam estar gerando falha na recepção, tendo como referência a norma brasileira. A ausência de tais ferramentas torna a identificação do erro bastante demorada e muitas vezes baseada em gravação em campo e análise de dados hexadecimais, aumentando assim o tempo em que a população estará sem o serviço em correta operação, gerando custos e diversos prejuízos para as emissoras, fabricantes e usuários.

Atualmente, a verificação de erros em campo no contexto da TV Digital brasileira carece de metodologias compatíveis com o padrão SBTVD e que proporcionem uma análise adequada aos problemas enfrentados, gerando um grande esforço de engenharia, custos e invariavelmente um maior tempo até a correta identificação do problema. A criação de novas ferramentas específicas para o padrão SBTVD para tais diagnósticos são essenciais para a indústria de TV Digital brasileira.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia capaz de realizar uma varredura em feixes de dados MPEG-2 transmitidos pelas emissoras de TV. Essa varredura deve analisar seu conteúdo detalhadamente, propondo novas soluções de distribuição desse sinal, reportar qualquer inconsistência em relação à norma brasileira de TV Digital e garantir uma harmonização entre todas as emissoras brasileiras, utilizando e compartilhando quaisquer irregularidades detectadas durante esse processo. Desse modo, o arquivo TS que estiver em análise e caso possua qualquer falha, será sinalizado na cor vermelha através de uma interface gráfica onde o técnico responsável pela análise seja capaz de enviar um *feedback* o mais rápido possível para a emissora.

1.2.2 - Objetivos específicos

Captura dos sinais transmitidos e a investigação minuciosa dos dados, verificando cada tabela, informações PSI (*Program Specific Information*) e tempo dos pacotes que estão sendo enviados no feixe. Para certificar que existem falhas ou ausência de informações, onde houver erro será desatacado na cor vermelha na interface gráfica, onde será fácil identificar. Com o desenvolvimento desta metodologia baseada em análise de *stream* pretende-se alcançar o objetivo geral realizando os objetivos específicos da seguinte forma:

- Criar uma interface gráfica baseada no padrão brasileiro de TV para mostrar os erros encontrados em arquivos TS analisados pela ferramenta;
- Adequar o sistema de análise dos dados TS em arquivos XML para sinalizar e identificar os erros nos arquivos;
- Gerar um *report* final do arquivo analisado na ferramenta.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Executando todas as etapas do trabalho, pretende-se no final da pesquisa os seguintes resultados:

1. Possibilidade de identificar rapidamente falhas nos feixes de TV, possibilitando maior velocidade no diagnóstico de problemas nas TVs ocasionados por feixes incorretos enviados pelas emissoras de TV;
2. Durante o desenvolvimento da ferramenta serão adicionadas verificações nos feixes específicas da norma brasileira, criando novos cenários de testes para os produtos em desenvolvimento, contribuindo assim para a robustez de novos produtos;
3. Contribuições relevantes à área tecnológica de TV Digital, sobretudo para o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD), por meio da criação de uma ferramenta inédita bastante útil para equipes de técnicas na área de TV Digital.
4. Propiciar a criação de produtos mais robustos, contribuindo com uma adoção estável do padrão brasileiro de TV Digital
5. Redução das despesas com funcionários técnicos dedicados à identificação e correção de problemas nos equipamentos de TV Digital.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo introduz o contexto da pesquisa, assim como o problema, as hipóteses, motivação e relevância, objetivo geral e específico, classificação da pesquisa, metodologia, e os resultados esperados.

O segundo capítulo expõe os conceitos fundamentais, por meio do referencial teórico, necessários para dá base científicos a pesquisa, onde se destaca uma visão geral sobre TV Digital, processo de compressão de áudio e vídeo com MPEG-2, e o desenvolvimento do sistema para otimizar o processo de análise.

O terceiro capítulo representa o objeto de estudo deste trabalho, assim como o referencial teórico para desenvolvimento de uma metodologia para análise dos feixes digitais baseado em decodificação de *Trasport Streams* e dados SI/PSI como um todo.

São mostrados no capítulo 4, os resultados de experimentos e discussões, baseados na metodologia proposta e por fim são discutidos no capítulo 5 as considerações finais, as conclusões e sugestões da pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - TELEVISÃO DIGITAL: DIGITALIZAÇÃO DO ELO DE TRANSMISSÃO

A TV Digital é um sistema de radiodifusão que transmite sinais digitais em substituição aos analógicos. Um sistema completo de televisão digital pode ser composto, ou visto, por três grupos específicos de trabalho. O primeiro é o que podemos chamar genericamente de “estúdio”. O segundo componente pode ser classificado como a transmissão dessas informações para o usuário final (telespectador), mais conhecida como “processo de radiodifusão” (broadcast), atualmente realizada de forma digital, e o terceiro a recepção (antena e acessórios/televisor) é nessa terceira etapa que o sinal de TV Digital tem cerca de 50% de pontos de resolução de imagem a mais, quando comparada à TV Analógica. Este é o componente que completa o elo da digitalização. Podemos redefinir Televisão Digital como sendo a transmissão de sinais de televisão na forma digital. E que, de imediato se entende em garantia de resultados de imagem e som de melhor qualidade para o telespectador (RODRIGUES *et al.*, 2004).

2.2 - A TRANSMISSÃO DIGITAL

PEREZ e ZAMANILLO (2002) propuseram que uma das últimas fronteiras digitais seriam quebradas. Desde a sua comercialização, no começo do século XX, a TV não sofreu grandes alterações em sua tecnologia, a não ser pela inclusão do sistema tricromático (TV colorida). Por ser um ótimo produto de consumo com grande penetração na população mundial, a TV tende a apresentar mudanças lentas e sutis. No entanto, a estagnação do sistema analógico chegou a seu ponto máximo, não sendo possível à inclusão de outras facilidades na TV. E durante todo esse tempo a TV analógica transmitia sinais de áudio e vídeo com degradações causadas pelo Canal de Comunicação como:

- Distorção (Não-linearidade);
- Ruído (Aditivo; aleatório e impulsivo);
- Perdas (Atenuação, Limitação de Banda Passante, *Fading*);

- Interferências (Aditivas, de origem humana).

O sistema analógico depende diretamente do sinal original (*source*) que deve manter suas características ao longo de todo o meio de transmissão e depende, enormemente, das condições de linearidade e ruídos do meio de transmissão, pois o sinal é alternado constantemente como pode ser visto na Figura 2.1. As alterações no sinal analógico geradas pelas condições do meio de transmissão são irreversíveis uma vez que não se tem uma referência relativa à fonte (*source*). As distorções e ruídos são fenômenos que devem estar sempre sob controle do operador de modo a garantir que sejam mínimos. Tais fenômenos não serão anulados. Assim, o que se tem é sempre um sinal analógico na recepção com qualidade inferior ao que se tinha na fonte. O sistema digital parte da discretização da fonte, que insere um erro, que ocorre na etapa de quantização. Como a quantização é um processo 100% controlado pelo operador, o erro de discretização é também controlado por ele. Assim, tem-se sob controle o ruído da digitalização. Ao longo da transmissão, os bits sofrem distorções, assim as interfaces de recepção ao optarem por “0” ou “1” podem estar cometendo um erro (MINASSIAN, 2007).

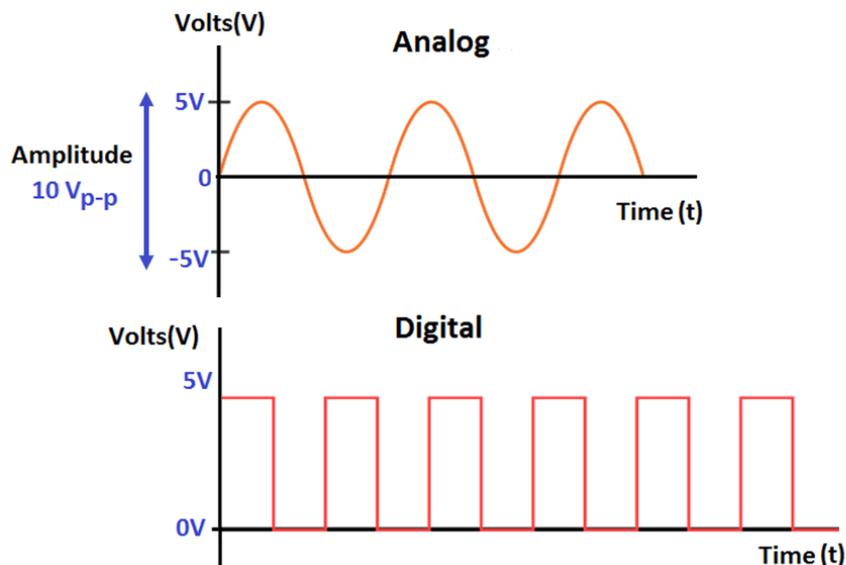


Figura 2.1 - Comparativo de desempenho entre sistemas A/D.
Fonte: BUNSHAK (2006).

De acordo com MINASSIAN (2007) o grande diferencial do universo digital encontra-se neste ponto. Como os dados transmitidos são palavras binárias, pode-se detectar a presença ou não de um erro através de códigos específicos. Com alguns códigos pode-se não só detectar a presença ou não do erro, como ainda os corrigir.

Desta maneira, pode-se observar na Figura 2.1 que na TV analógica (curva mais irregular na cor verde) precisa de aproximadamente 50 dB de relação sinal ruído para se obter uma qualidade aparente em torno de 80 em uma escala de até 120 para QP (Qualidade aparente). Para o caso do sinal de TV Digital (curva mais linear na cor vermelha), observa-se que é necessário um S/N (*signal to noise*) de aproximadamente 25 dB para se conseguir a mesma qualidade aparente.

2.3 - BREVE RESGATE HISTÓRICO DA TV DIGITAL

Em meados dos anos 30 há registros sobre um estudo juntamente com um protótipo relacionado à alta definição, mesmo que ainda nas cores preto e branco, que levantou um questionamento equivalente ao conceito da Alta Definição, que basicamente se resume em uma de muitas vantagens que a digitalização no meio de transmissão pode proporcionar ao telespectador final. No entanto o termo TV de Alta Definição é encontrado com frequência como sinônimo de Televisão Digital. É importante deixar claro que não são a mesma coisa (ZUFFO, 2008).

No final da década de 1980, a possibilidade de transmissão de imagens totalmente digitais ao telespectador ainda era vista como uma perspectiva distante e que definitivamente não era algo economicamente acessível antes da virada do século. A principal razão para isso foi a taxa de bits muito alta, necessária para a transmissão de 525 linhas de imagens de vídeo ao vivo (108 a 270 Mb/s sem compressão). Outra razão era que, naquela época, outros assuntos econômicos tinham uma alta prioridade em relação a evolução de imagem e qualidade da TV (ZUFFO, 2008).

Segundo (ANDGULO *et al.*, 2012) surgiu no Japão, na Europa e nos E.U.A uma proposta de desenvolvimento de uma televisão de alta definição conhecida como IDTV (*Improved Definition TeleVision*) usando 1125 linhas em uma transmissão ao vivo e HDTV (*High Definition TeleVision systems*) transmitindo com 1250 linhas que não obteve o sucesso esperado por parte dos telespectadores. Entre 1991 a 2000, os europeus, os E.U.A e os japoneses conseguiram desenvolver suas próprias soluções digitais terrestre, cada um levando em consideração fatores únicos da região, cujo os padrões técnicos são identificados pelos acrônimos DVB-T, ATSC-T e ISDB-T, respectivamente.

No fim de 1993, a Europa já lançava um padrão totalmente digital. Chamado então de consórcio DVB – *Digital Video Broadcasting*, uma versão DVB para radiodifusão terrestre que entrava em operação na Inglaterra em 1998.

Já em 1995, a FCC - *Federal Communications Commission* recomenda os americanos a adotarem o padrão digital que ficou conhecido como ATSC - *Advanced Television System Committee*. Que entrou em operação também em 1995.

Em 1997 os japoneses decidiram desenvolver um padrão totalmente digital. O sistema japonês denominado ISDB - *Integrated Services Digital Broadcasting* - assemelha-se ao europeu e entrou em operação com transmissão via satélite em 2000.

A título de ilustração, a Figura 2.2 mostra o aspecto de uma imagem NTSC - *National Television System Committee* com 525 linhas de resolução e razão de aspecto de 4:3 ao lado do aspecto de uma imagem HDTV com 1080 linhas e razão 16:9 (semelhante à usada nas telas de cinema).

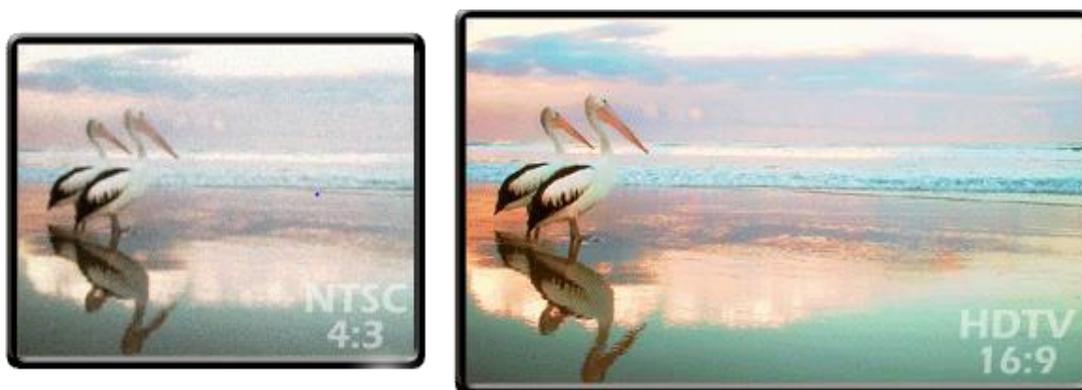


Figura 2.2 - Comparação entre Aspectos de imagem NTSC e HDTV.
Fonte: HD PICTURES (2021).

Com a criação do Grupo Técnico Abert/SET (Sociedade de Engenharia de Televisão) em 1994, marcou o início dos estudos e da trajetória brasileira sobre sistemas de TV Digital. As concessionárias de radiodifusão que integravam este grupo tinham a intenção de acompanhar e agregar valores na evolução da tecnologia e de propor soluções técnicas ao governo, representado então pela Comissão Assessora para Assuntos de Televisão (COM-TV), do Ministério das Comunicações (ANDGULO *et al.*, 2012).

Com as mudanças aceleradas por parte do governo do presidente Fernando Henrique Cardoso, como por exemplo, a privatização da Telebrás e a normatização dos serviços de TV por assinatura, ficou definido que a Agência Nacional de

Telecomunicações (ANATEL) recebia a competência para regular aspectos técnicos e fiscalizar a evolução do sistema digital brasileiro (ANATEL, 2010).

Sob a responsabilidade e gestão do Grupo Abert/SET, alguns testes de campo usando as três tecnologias disponíveis até então foram realizados nos anos de 1998 e 1999, vários testes de campo com as três tecnologias disponíveis. Todos os resultados foram encaminhados para ANATEL no ano seguinte, de forma a colaborar com o processo de tomada de decisão em relação ao padrão a ser utilizado. Entretanto, até 2000, quase todos os debates envolvendo o assunto TV Digital estava restrito à escolha do padrão tecnológico de transmissão e à alocação de um espaço no espectro para que as emissoras pudessem efetuar a migração.

Em 2001, a ANATEL tornou público um relatório, produzido pela Fundação CPqD que alterou o conteúdo do debate. O Relatório Integrador dos Aspectos Técnicos e Mercadológicos da Televisão Digital inovou a pauta ao discutir os modelos de negócio que podem surgir, os modelos de transição, os fatores sociais e culturais que influenciam o processo, entre outros assuntos. Essa consulta pública atraiu a atenção da sociedade e da mídia em geral e foi o primeiro ponto de inflexão na trajetória da TV Digital no Brasil (ANATEL, 2010).

Ao final do segundo mandato do presidente Fernando Henrique Cardoso, iniciou o processo de implantação para a TV Digital no Brasil, publicamente pelo Ministério das comunicações através de um documento redigido e aprovado pela presidência da república. Pois o ponto principal tratando-se de política, eram as contrapartidas comerciais, financeiras e tecnológicas que o detentor da tecnologia a ser adotada poderia oferecer. Nessa época, entraram oficialmente no grupo de decisão: o Ministério da Fazenda, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Muitos critérios foram adotados para escolher o modelo brasileiro, mas um critério-chave na definição seria a oportunidade de manutenção e ampliação do polo industrial com relação a TV Digital e conseqüentemente a ampliação de exportações do setor eletroeletrônico. Concretizada a sucessão presidencial em 2003, surgiu um novo ponto de inflexão no debate do tema: o governo introduziu a ideia de desenvolvimento de um padrão brasileiro de televisão digital terrestre. O Ministério das Comunicações interrompeu as negociações em torno da adoção imediata de um dos padrões já disponíveis (ATSC, DVB ou ISDB) e decidiu investir em estudos que avaliassem a viabilidade da produção de soluções nacionais de baixo custo e de aplicações voltadas à redução da exclusão digital. Nesse novo contexto, instituiu-se, por meio do Decreto

4.901, de 26 de novembro de 2003, o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), que se tornou responsável pela condução do debate com a sociedade e pela produção de um modelo de referência a ser utilizado como norteador do processo de implantação da TV Digital a partir de 2005 (RODRIGUES *et al.*, 2005).

2.4 - FUNDAMENTOS DA TELEVISÃO DIGITAL

Por causa de uma enorme exigência da sociedade por uma melhor qualidade de áudio e vídeo do sinal de televisão, gerou-se uma tremenda força motriz para a indústria de radiodifusão, e isso levou à invenção da televisão digital (DTV). Segundo CARVALHO (2006), a televisão digital apareceu como uma evolução natural da televisão analógica. Anteriormente, as fases que constituíam a produção de um programa de TV (filmar as cenas, editar, finalizar e armazenar vídeos), broadcasting (gerando o vídeo composto, modulação, amplificação, transmissão de rádio) e recepção (a captura do sinal pela antena, a demodulação do receptor do aparelho de televisão e a apresentação da imagem e do som para o espectador) do sinal pelo usuário eram todos analógicos, ou seja, os sinais que representavam a imagem e o som gerado no estúdio eram todos analógicos, como bem como os sinais transmitidos ao receptor de TV (CARVALHO, 2006).

Além disso, devido aos avanços técnicos significativos no campo de processamento de sinal digital (incluindo aquisição de sinal, gravação, compressão, armazenamento, distribuição, transmissão e recepção), a indústria de semicondutores e outras indústrias relacionadas no último meio século, como a de transmissão, é agora abraçada a terceira etapa importante de sua história, ou seja, a era da DTV. A informação visual recebida pelos olhos humanos na vida diária é sempre analógica, e a missão da primeira e segunda geração de sistemas de transmissão de TV (preto e branco ou colorido) é transmitir esses sinais analógicos para os numerosos aparelhos de TV com a mais alta qualidade. Embora a definição ou a estrutura dos diferentes sistemas de TV digital possa ser ligeiramente diferente, a definição principal ou os principais blocos funcionais são os mesmos (HORNG *et al.*, 2012). Eles devem incluir a amostragem, quantização e codificação de programas de TV analógica para convertê-los em formato digital antes que eles sejam processados, gravados, armazenados e distribuídos. A sequência de segmentação, codificação de correção de erro, modulação e conversão ascendente são feitas na banda de base para formar os sinais de radiofrequência (RF) de

DTV após a conversão no lado de transmissão. No lado da recepção, após obter a sincronização do sistema e a equalização do sinal com base na estimativa de canal precisa, as operações inversas no sinal recebido para o lado da transmissão serão realizadas antes que o programa final possa ser finalmente exibido na tela da TV. As tecnologias de transmissão digital não apenas proporcionam melhor desempenho de recepção e exibição em comparação com sua contraparte analógica, mas também introduzem novas funções que não estão disponíveis com o analógico.

Segundo (ETSI, E. N, 2009), tecnologias de radiodifusão. Considerando todas as vantagens que a tecnologia digital pode oferecer sobre sua contraparte analógica, é óbvio que um sistema de TV digital pode oferecer experiências audiovisuais de alta qualidade e serviços mais abrangentes. Dado todo esse destaque que o sistema DTV pode suportar, a digitalização é amplamente considerada uma mudança fundamental e um novo marco na indústria de transmissão de TV, após a introdução da TV em preto-e-branco e da TV em cores.

De acordo com (LEONG *et al.*, 2012) as vantagens da TV digital tradicional da seguinte forma:

- Melhor capacidade antiparasitária, sem acumulação de ruído e sinais de alta qualidade.
- Após a digitalização, o sinal analógico é alterado para uma sequência binária (dois níveis).
- A menos que a amplitude do ruído exceda um certo nível, o ruído introduzido durante o processamento ou a transmissão pode ser efetivamente eliminado. A transmissão sem erros também pode ser obtida por meio da codificação de correção antecipada de erros. Durante a transmissão do sinal DTV, a qualidade da imagem e do som recebidos pelos usuários na cobertura é quase idêntica àquela originalmente transmitida da estação de TV
- Dependendo do esquema de compactação de codificação de vídeo usado em um sistema de TV digital, um canal de TV analógico pode conter pelo menos um programa HDTV (TV de alta definição) ou aproximadamente 10 programas SDTV (TV de definição padrão) ou mais de 20 programas de TV digital com qualidade VHS. A tecnologia de TV digital ajuda a reduzir a necessidade de largura de banda para cada programa, e a eficiência do espectro aumenta consideravelmente. Com a economia de espectro da transmissão DTV, as

emissoras podem usar o espectro salvo para fornecer mais programas de TV ou oferecer novos serviços.

- Fácil de criptografar e oferecer suporte a serviços interativos. Os sistemas DTV podem ser estendidos de um sistema de transmissão ponto-multiponto para um sistema interativo ponto-a-ponto para suportar serviços de valor agregado para que o usuário possa assistir programas de TV ou pesquisar / trocar informações com base em preferências pessoais.
- Fácil de armazenar, processar e distribuir no ambiente de rede. A vantagem de um sinal de DTV sobre sua contraparte analógica é que se torna relativamente fácil de armazenar, processar e trocar. Isso facilita a transmissão integrada de imagens, dados e voz, bem como o compartilhamento de programas de TV no ambiente de rede.

Em resumo, a introdução do conceito DTV se baseia nos mais recentes avanços técnicos da compressão de vídeo, transmissão e processamento de informações. A técnica de codificação de compactação de vídeo digital é aplicada à fonte de vídeo para minimizar a redundância com alta taxa de compactação sem perda de qualidade (ou quase nenhuma).

A taxa de transmissão de dados para qualquer programa de TV é, portanto, reduzida e a eficiência de transmissão de todo o sistema é melhorada. Usando a tecnologia de codificação de correção de erros que introduz certa redundância na sequência de informações comprimida e tecnologias de modulação digital altamente eficientes, melhor desempenho de transmissão na presença de ruído, interferência e outras condições não perfeitas podem ser alcançadas. Além disso, devido ao mais recente desenvolvimento em tecnologias de drive e exibição, os sistemas de TV digital podem oferecer uma experiência melhor ao espectador, incluindo imagens mais nítidas, cores melhores e qualidade de som mais refinada, tudo com eficiência espectral aprimorada, de acordo com (REIMERS, 2005).

A Figura 2.3 ilustra um sistema ISDB-TB composto pelos estágios de codificação fonte, multiplexação/re-multiplexação, distribuição, modulação/transmissão, propagação, recepção/demodulação e decodificação fonte. A implementação do sistema ISDB-TB foi um grande desafio, mas ainda existem diversas frentes de pesquisas a serem estudadas.

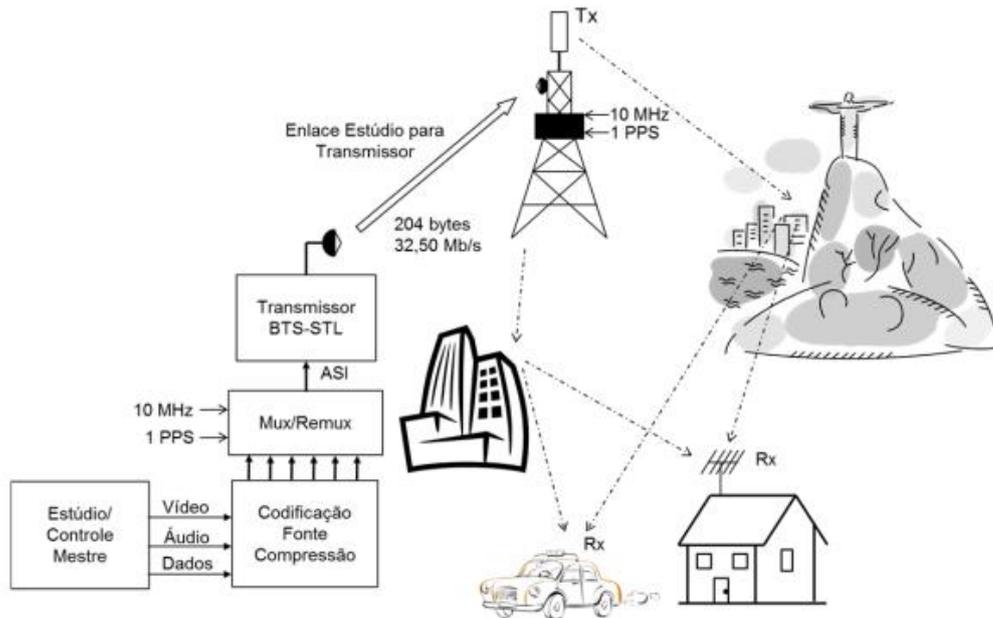


Figura 2.3 - Sistema de transmissão ISDB-TB.
 Fonte: ALENCAR (2017).

De acordo com (REDDY *et al.*, 2013), tanto a transmissão por satélite ou cabo abordam o limite teórico. Sendo as redes de TV digital mais utilizadas em todo o mundo, as redes DTTB (*Digital Television Terrestrial Broadcasting*) suportam o maior número de usuários. O termo televisão digital terrestre (DTTV ou DTT) também é utilizado para se referir ao sistema DTTB. O canal de radiodifusão terrestre, no entanto, apresenta as mais severas condições de transmissão devido ao alto grau de interferência, especialmente com mudanças rápidas tanto no atraso quanto na amplitude da interferência de multipercurso. Este canal é muito mais complicado em comparação com as redes de satélite ou cabo. O ambiente de transmissão para um canal de transmissão DTV terrestre não é obviamente um canal AWGN, e isso representa um grande desafio para o projetista de sistemas DTTB.

De acordo com (REIMERS, 2005) alguns resultados de testes laboratoriais para o desempenho do sistema DTTB sob um ambiente AWGN podem ser significativamente diferentes do mundo real. Em outras palavras, o esquema de codificação com ganho decente para um canal AWGN pode não ser aplicável à transmissão real. Portanto, o desempenho do sistema deve ser cuidadosamente avaliado ao escolher o esquema de transmissão apropriado, não apenas em um canal AWGN, mas também em um canal *multipath*. Outra questão importante é a interferência da própria rede de radiodifusão terrestre. Com a inevitável coexistência de serviços

analogicos e digitais de TV terrestre durante o período de transição, o sistema deve ter forte capacidade de lidar com interferências adjacentes e *cochannel* da transmissão analógica e também minimizar sua interferência nos sistemas de transmissão existentes (analogicos e digitais). Isso ajuda a garantir o desempenho geral de recepção para todos os usuários finais.

2.5 - PADRÃO BRASILEIRO DE TV DIGITAL – ISDB-TB

De acordo com (ETSI, 2009) o padrão ISDB-Tb (*Integrated Services of Digital Broadcasting Terrestrial*), foi desenvolvido pelo grupo japonês DIBEG's (*Digital Broadcasting Experts Group*) nas décadas de 70 e 80, porém somente na década de 90 que começou a entrar no mercado. Esse padrão foi adaptado e escolhido para ser usado no Brasil, após serem realizados testes, chegaram à conclusão de que seria a melhor escolha a ser feita. Em geral todo sistema de TV Digital é baseado em conjuntos de normas que regulamentam e padronizam os vários subsistemas existentes de um padrão de transmissão, essa regulamentação é de extrema necessidade para os fabricantes de receptores ou transmissores para que possam ter parâmetros para desenvolver e aprimorar soluções referenciadas.

O sistema teve pequenas alterações, com relação ao sistema original proposto pelos japoneses, pois as soluções tecnológicas desenvolvidas para o Japão não são as melhores e as mais adequadas para o Brasil. Uma destas alterações propostas se refere diretamente ao sistema de multiplexação dos sinais de áudio, vídeo e dados, que são provenientes dos codificadores, para transformá-los em um único fluxo ordenado de informações para uma dada transmissão. Este fluxo ordenado, de informações, na saída do *multiplexer* denominou-se BTS (*Broadcasting Transport Stream*).

A estrutura de funcionamento é semelhante ao modelo europeu, contudo, mais avançada. É o único modelo a permitir que a TV Digital seja utilizada com todas as suas aplicações interativas, conhecidas como *middleware* ginga, que é constituinte de uma camada de abstração de hardware em conjunto com o sistema operacional do receptor, que já tinha sido desenvolvida por universidades brasileiras (UFRJ e UFPB), com isso o sistema acabou sendo adotado por muitos países da América do Sul, inclusive a convergência com os aparelhos Terceira Geração. Além disso, é o mais indicado para as regiões metropolitanas (que apresentam muitos prédios altos). É o único padrão a não possuir apenas uma antena transmissora e sim, uma rede de transmissoras de pequena

potência. O ISDB-Tb usa um sistema de segmentação espectral que viabiliza a alocação flexível de serviços de rádio, SDTV, HDTV e TV móvel. Utiliza o método de transmissão COFDM, que trabalha com um feixe de transporte encaixa do num grande número de pequenas portadoras. Este número pode variar de 1400 a 6800 miniportadoras, e cada leva um fragmento da informação (ATSC, 2009).

Em linhas gerais todos os padrões de televisão digital possuem uma distinção com características próprias, sendo uma delas em comum que é o método de compressão de áudio e vídeo e conseqüentemente o transporte desses dados gerados pelo MPEG. Existem normas regulamentadores para todo o processo de compressão MPEG que foram desenvolvidas pela ISO (*international standards organization*) com intuito de padronizar esse modelo de compressão de áudio e vídeo digitais assim como o processo de dados (ETSI, 2009).

Uma inovação deste sistema é a segmentação de banda que divide a largura de 6MHz do canal em 13 segmentos de 0 a 12, conforme ilustra a Figura 2.4 e esses, por sua vez, podem ser juntados livremente para formar as camadas de transmissão hierárquica que este modelo também suporta. Em um segmento de banda de 6MHz, cada segmento deste tem uma largura de 428,57 Khz (ETSI, 2009).

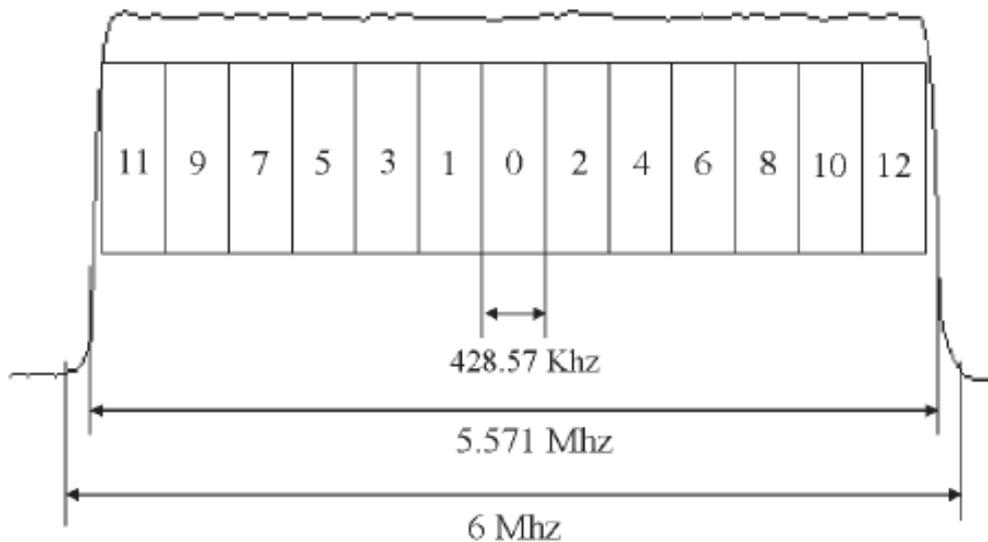


Figura 2.4 - Espectro do canal de RF segmentado da banda 6MHz.
 Fonte: TELECO (2021).

O sistema de transmissão ISDB-T é dividido basicamente em quatro blocos: codificação de áudio/vídeo, re-multiplexação, código de canal e modulação como mostrado na Figura 2.5. Segundo a descrição, assim que áudio, vídeo e dados passam

pelo processo de codificação conhecido como *encoder* (H.264 para vídeo e AAC para áudio), são gerados *stream* ou *Program Streams (PS)*, esses *streams* passam por um novo processo chamado multiplexação, tendo como saída o *Transport Streams (TS)*.

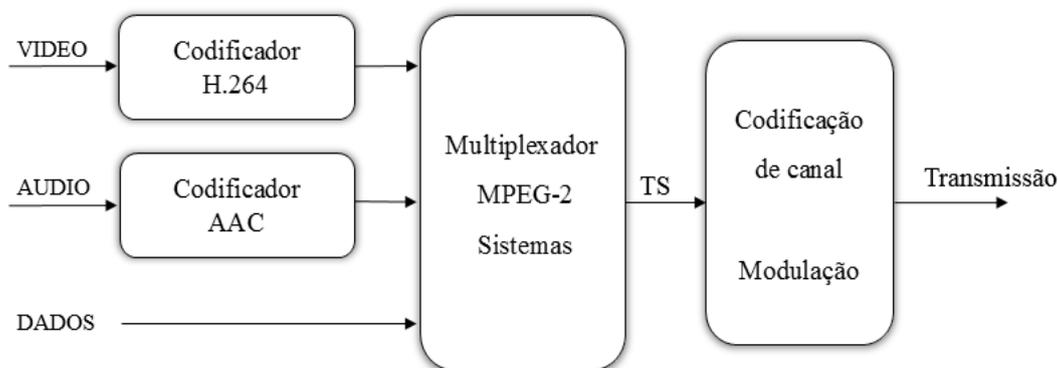


Figura 2.5 - Diagrama de blocos do ISDB-T.
Fonte: ABNT (2007).

No Brasil, o sistema ISDB-T usa codificação de vídeo MPEG-2 e codificação de áudio avançada MPEG-2 (AAC) para HDTV e H.264 para recepção móvel (como mostrado na tabela 2.1. Nos pacotes de fluxo de transporte (TSP) de comprimento 188 bytes são agrupados em um quadro multiplexado. O comprimento do quadro multiplexado depende do intervalo de guarda e dos valores de tamanho do IFFT. Na saída de informações de controle de configuração de multiplexação de transmissão re-multiplex TMCC é adicionado com a configuração do parâmetro do modulador e atribuído a cada camada. O comprimento de TSP é de 204 bytes e é chamado o fluxo de transporte de transmissão BTS. A tabela 2.1 ilustra todas as resoluções de áudio e vídeo, assim como os padrões responsáveis pelo processo de compressão. (ARIB, 2009).

Tabela 2.1 - Relação áudio e vídeo e seus tipos de codificação.

Video coding	Audio Coding
HDTV MPEG-2 MP@HL	MPEG-2 AAC
STVD MPEG-2 MP@ML	MPEG-2 AAC
LDTV H.264 BP@L1.2	AAC-SBR

Também é utilizado para a identificação e estruturação de todos os TS (*transport streams*) de entrada do multiplexador, como um conjunto de tabelas e descritores. As

tabelas possuem uma sintaxe de formação muito bem definida, com informações essenciais para o processamento do receptor, estas definições são encontradas na camada de sistema MPEG-2. Os descritores são informações opcionais e adicionais no fluxo dos *streams* nas formações das tabelas. Geralmente os descritores são dependentes de implementações técnicas (ARIB, 2009).

2.6 - CODIFICAÇÃO DE ÁUDIO E VÍDEO

Quando se trata de codificação de áudio e vídeo, um resumo básico para bons entendimentos é que a codificação de áudio e vídeo é feita pela transmissão e a decodificação de áudio e vídeo que é realizada pelo sistema receptor. O codificador de vídeo recebe um sinal e após isso é gerada a compressão dessas informações, que são enviadas ao multiplexador. O sistema de decodificação recebe o sinal que previamente passou pelo demultiplexador do receptor e realiza sua descompressão obtendo como sinal de saída o sinal reconstruído ou remultiplexado (ABNT, 2007)

No contexto geral podemos afirmar que existem muitos tipos e formatos para compressão de vídeo, como por exemplo MPEG (*Moving Picture Experts Group*) e VCEG - (*Video Coding Experts Group*). Os padrões também possuem muitas opções, em geral os mais conhecidos são MPEG-2 e MPEG-4, sendo que o MPEG-2 tem uma leve preferência em relação aos outros, pois tem um baixo custo quando se trata de seus circuitos integrados e conseqüentemente adere tecnologia de aprimoramento constante, ou seja, possui uma facilidade de atualização de acordo com padrões de TV's mundiais.

O padrão do transporte do MPEG está nas normas ISO 13818 (ISO.13818-1, 2000) e 14496 (ISO.14496-3, 2005), nas quais são definidas diversas ferramentas para a sincronização de sinais de vídeo, áudio, e dados adicionais incorporados, para assim formar um só fluxo completo que será transmitido (ABNT, 2007).

Segundo a (ABNT, 2007) o SBTVD adotou o padrão H.264 como padrão de compressão de vídeo e é usado em definição padrão ou alta definição. A adoção deste padrão é uma das inovações em relação a outros padrões de televisão digital. Neste sentido, os objetivos do padrão H.264 são conseguir uma melhor taxa de compressão, adaptar o fluxo de conteúdo à transmissão pela rede e ter uma maior robustez frente a ruídos ou erros. Já o padrão de áudio foi adotado o HE-ACC, que possui frequências de amostragem em 32kHz, 44,1 kHz ou 48 kHz. Onde o número máximo de canais de áudio permitidos deve seguir obrigatoriamente a nome ISSO/IEC 14496-3, assim como

sua respectiva codificação. Diante da Figura 2.6, podemos perceber que o bloco do banco de filtros é utilizado para decompor o sinal de áudio de entrada nas 32 sub-bandas, na qual irá resultar a melhor interpretação dos estímulos auditivos.

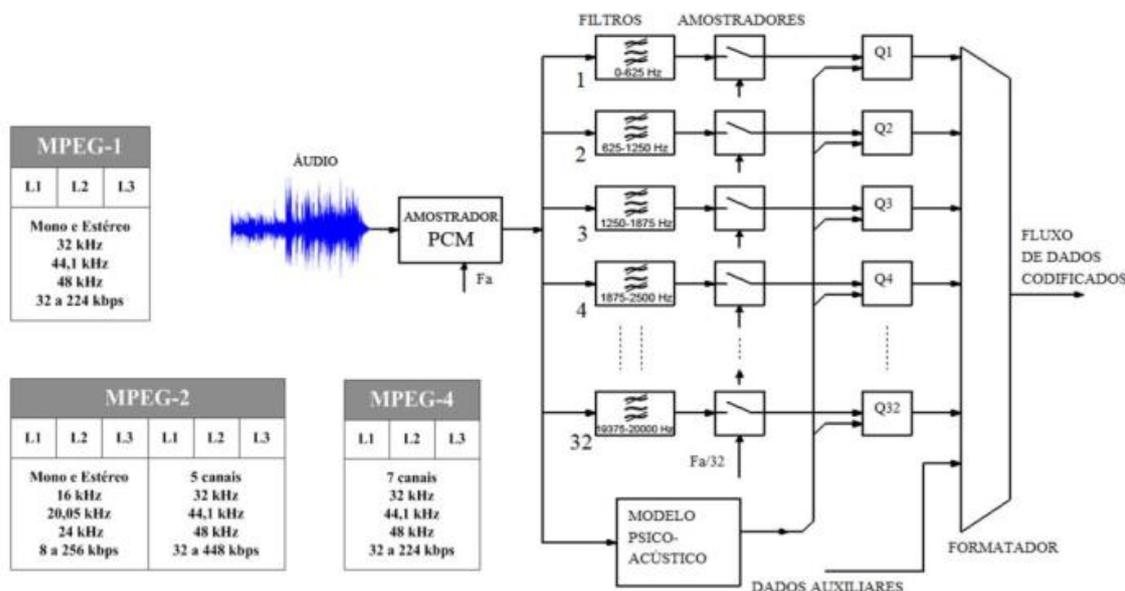


Figura 2.6 - Banco de filtro de áudio.
Fonte: SYED (2009).

2.6.1 - Padrão de compressão de vídeo H.264

O padrão de compressão H.264 é também conhecido como MPEG-4 ISO / IEC14496-10 ou MPEG-4 / AVC. Este padrão foi desenvolvido pelo grupo JVT, composto por membros da MPEG-ISO / IEC e membros da VCEG-ITU-T. O H.264 é um método e formato para compressão de vídeo, o processo de conversão de vídeo digital em um formato que ocupa menos capacidade quando é armazenado ou transmitido. Compressão de vídeo ou codificação de vídeo é uma tecnologia essencial para aplicações como televisão digital, DVD-Vídeo, TV móvel, videoconferência e transmissão de vídeo pela internet. Padronizando a compactação de vídeo torna possível para produtos de diferentes fabricantes, tais como *encoders*, *decoders* e mídias de armazenamento que possam interoperar. Um codificador converte vídeo em um formato compactado e um decodificador converte vídeo compactado de volta em um formato descompactado. Em uma aplicação típica como a vigilância remota, o vídeo de uma câmera é codificado ou comprimido usando H.264 para produzir um fluxo de bits, isto é, enviado através de uma rede para um decodificador que reconstrói uma versão do

vídeo de origem, como podemos ver na Figura 2.7 que mostra o processo de codificação e decodificação e destaca as partes que são cobertas pelo H.264 padrão (ABNT, 2007).

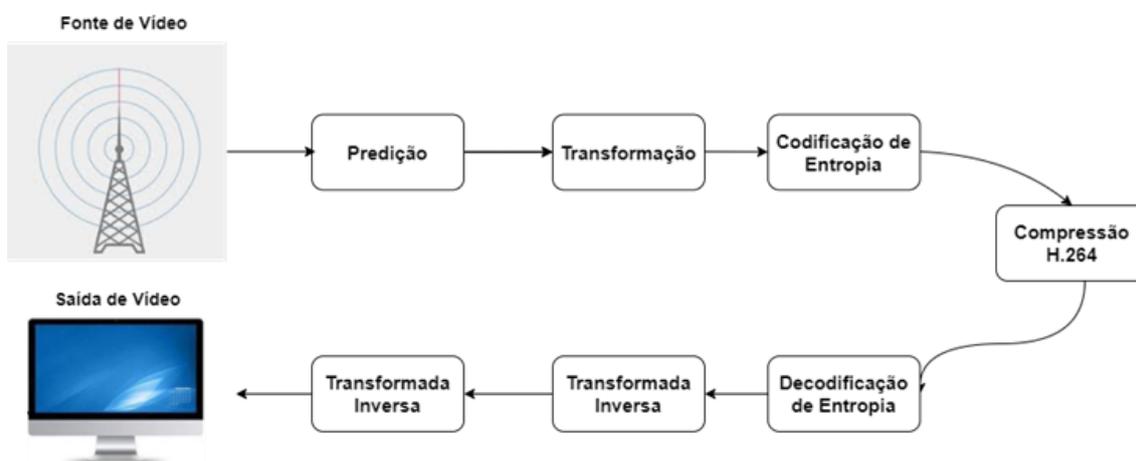


Figura 2.7 - Processo de codificação e decodificação H.264.
Fonte: IAIN (2010).

2.6.2 - Padrão de compressão de áudio

O sistema de compressão de áudio segue restritamente a norma ISO/IEC 14496 (MPEG-4 Áudio) que é um novo tipo de padrão internacional de áudio que integra diferentes tipos de codificação de áudio: som natural com som sintético, entrega de baixa taxa de bits com entrega de alta qualidade, fala com música, trilhas sonoras complexas com músicas simples e conteúdo tradicional com conteúdo interativo e de realidade virtual. Padronizando ferramentas de codificação individualmente sofisticadas, bem como uma estrutura nova e flexível para áudio sincronização, mixagem e pós-produção baixada, os desenvolvedores do padrão MPEG-4 criaram uma nova tecnologia para um novo mundo interativo de áudio digital.

Segundo (DOUGLAS *et al.*, 2012) a compressão de áudio possui divisões e níveis onde áudio digital de alta qualidade requer uma alta taxa de dados, o que pode ser excessivo para certos aplicativos. Uma abordagem para o problema é usar a compressão, o que reduz significativamente essa taxa com uma perda moderada de qualidade subjetiva. Como o sistema auditivo humano não é igualmente sensível a todas as frequências, é possível obter algum ganho de codificação usando menos bits para descrever as frequências menos audíveis. Embora a compressão possa alcançar uma redução considerável na taxa de bits, ela deve ser apreciada que os sistemas de

compressão reintroduzem a perda de geração do domínio analógico para os sistemas digitais.

Um dos padrões de compactação mais populares para áudio e vídeo é conhecido como MPEG. A Figura 2.8 ilustra a saída de um único compressor MPEG chamado de ES- *Elementary Stream*, cada ES deve ser separado e obrigatoriamente sinalizado na tabela PMT para a identificação do áudio que está sendo transmitido no programa atual. Para que haja sincronismo entre áudio e vídeo, uma informação é colocada nos cabeçalhos dos PES, chamada PTS, de modo que a sua exibição seja coordenada por essa informação. Sendo assim, áudio e vídeo que devem ser exibidos simultaneamente tem os mesmos valores de PTS. Esses PES são então quebrados em TPs (*Transport Packets*) e multiplexados com vídeo e dados, por divisão no tempo, o que forma o TS com áudio pronto para ser transmitido (DOUGLAS *et al.*, 2012).

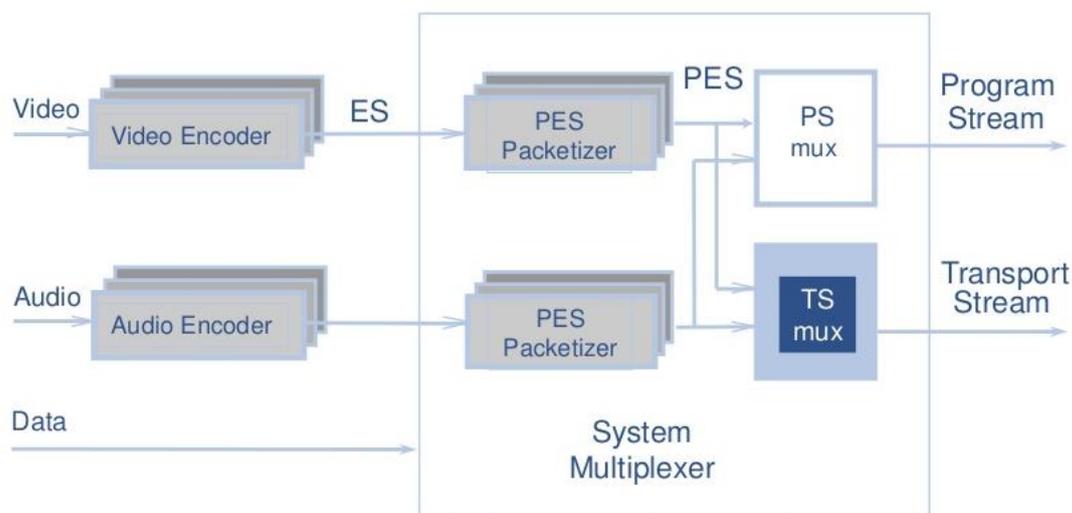


Figura 2.8 - Compressão do fluxo de bits de áudio/vídeo MPEG-2.
Fonte: MEDIALAB (2015).

2.7 - FLUXO DE BITS DAS INFORMAÇÕES DE ÁUDIO E VÍDEO

Segundo a (ABNT, 2007) os fluxos de áudio e vídeo são multiplexados, formando assim um único feixe de dados. Podemos afirmar que esse fluxo único de sinal de entrada no multiplexer é denominado de TS (Transport Stream) e são formados por pacotes de comprimentos fixos de 188bytes, conforme a descrição da Norma ISO/IEC 13818-1. As identificações de cada um dos pacotes são feitas individualmente em um campo reservado do cabeçalho do pacote de transport stream denominado PID

(Packet Identifier). A multiplexação de todos os pacotes de informações áudios-visuais, mais dados e parâmetros configuração do sistema, formam o BTS (Broadcasting Transport Stream) que irá apresentar uma taxa sempre fixa de $32,508Mbps$. Devido ao dinamismo de cenas de imagens, qualidades perceptivas do áudio e vídeo e dentre outros fatores, não irá resultar nesta taxa fixa de dados na saída do multiplexador. Sempre irá apresentar um valor de taxa menor, desta forma para se manter a taxa fixa de saída é completa-se com bits de enchimento que serão descartados na recepção.

A Figura 2.9 mostra a formação do fluxo de informações. Na entrada do encoder podem ser encontrados diversos formatos de padrões de áudio e vídeo que não passaram por nenhuma etapa de codificação de forma que obtivesse perdas significativas na qualidade do sinal. Um exemplo, de sinal utilizado na entrada do encoder é conhecido como sinal SDI (Serial Digital Interface), que existem diversas especificações normatizadas pela SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) cujas seguem a Recomendações da ITU-R (International Telecommunication Union – Radio). Este tipo de sinal sofre apenas perdas imperceptíveis às características áudios-visuais humanas, como por exemplo, formatos de quadros, quantidades de bits para quantização, frequência de amostragens, etc.

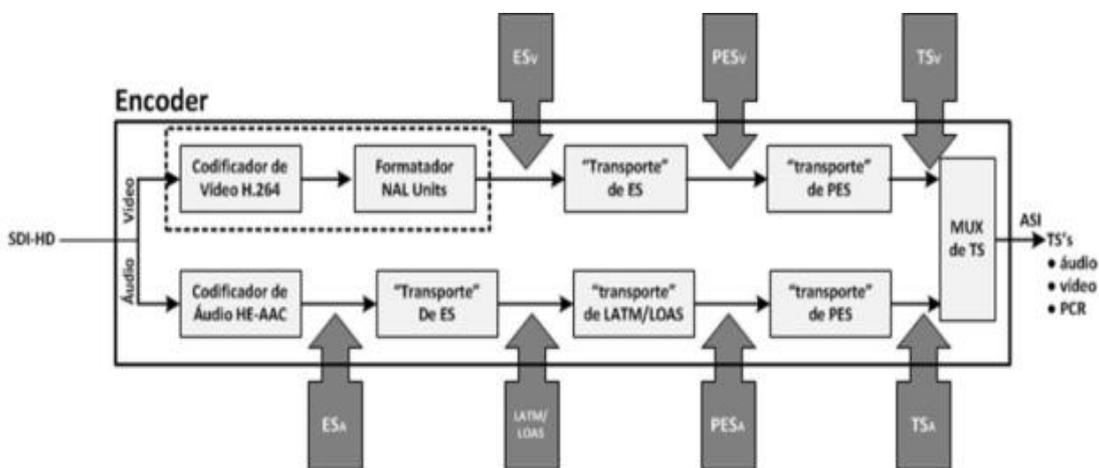


Figura 2.9 - Formação do fluxo de bits das informações de áudio e vídeo.

Fonte: K. JACK (2005).

As saídas dos codificadores fornecem uma sequência elementar de bits (ES), que são informações na qual foram eliminadas todas as redundâncias existentes no sinal de vídeo e áudio, de acordo com as normas MPEG-4. A esta sequência elementar é empacotada” originando os pacotes PES com comprimentos variáveis de no máximo até $64kbytes$. Os pacotes PES recebem um cabeçalho na qual irá conter as informações

referentes à sincronização, identificação e caracterização dos sinais de áudio, vídeo e dados. Aos pacotes de elementary stream (PES) irão originar os pacotes de transport stream (TS) com comprimentos fixos de 188bytes, e acrescidos novamente de outro cabeçalho, que irá conter as informações de referentes ao sistema de transmissão (ABNT, 2007).

2.7.1 - System Time Clock (STC)

Devido a possibilidade de a Televisão Digital transmitir vários programas simultâneos, como por exemplo vários áudios, resoluções de imagens, conteúdos televisivos diversificados, é impraticável que cada um tenha sua própria base de tempo. Dessa forma devem ser criadas alternativas para a sincronização entre os diversos programas. O System Time Clock ou simplesmente STC, é bloco comum aos sistemas de codificações e transmissão, responsável por fornecer a sincronização entre os diversos programas. O STC utiliza a tecnologia NLL (Numerically Locked Loop), na qual possui os mesmos princípios de funcionamento do PLL (Phase Locked Loop), porém sua atuação é de forma numérica e digitalizada. O PLL através de uma comparação entre a sua realimentação e um sinal de referência e fixa, a frequência de saída gerada se mantém constante e com precisão (NATARAJAN, 2003).

No caso do NLL, no processo de transmissão irá fornecer valores numéricos que serão utilizados por alguns campos dos cabeçalhos dos pacotes PES e de TS. E na etapa de recepção estes valores numéricos transportados serão comparados com outros valores gerados pelo contador da recepção que por sua vez também possui uma base de clock idêntica a transmissão de 27MHz. A diferença entre os valores transmitidos e os da contagem da recepção irão realizar uma realimentação no sistema NLL, com a intenção de alinhar as contagens e, por conseguinte manter os sistemas de transmissão e recepção sincronizados. Vale ressaltar que a referência de clock de 27MHz, são providos de um VCXO (Voltage-Controlled Crystal Oscillator), na qual garante uma maior estabilidade na frequência (NATARAJAN, 2003).

Devido ao problema de ruído de fase, comum em circuitos que contém realimentação, a instabilidade do oscilador local ou pequenos desvios de frequência podem ocasionar *jitter* no sinal. E como o erro é acumulativo, o receptor pode não decodificar totalmente ou parcialmente o sinal transmitido. As medidas de *jitter* no

sistema e ruído de fase serão abordadas mais adiante em medidas no sistema de televisão digital.

Vale ressaltar que em alguns sistemas de transmissão como, por exemplo, o ISDB somente irá utilizar no máximo 42 bits. E outros como DVB irão utilizar todos os 48 bits. Será elucidado melhor o motivo da utilização de seis bits a mais nos campos PCR e OPCR, no cabeçalho do pacote de *Transport Stream* (NATARAJAN, 2003).

2.7.2 - Estrutura e formação do pacote *Elementary Stream* (PES)

De acordo com (G. BEDICKS *et al.*, 2007) a formação dos pacotes PES pode conter informações importantes e essenciais para a codificação e decodificação dos sinais de áudio, vídeo e dados. Essas informações estão contidas em seu próprio cabeçalho. O pacote PES é iniciado por 32 bits, sendo que os 24 primeiros bits são exclusivos para a identificação do código prefixo e os 8 bits restantes identificam os dados transportados pelos pacotes PES. No entanto os 32 bits completos com todas as informações são continuados por um outro campo de 16 bits que será responsável por identificar o comprimento de pacote PES, resultando assim e, 48 bits obrigatórios para todos os pacotes PES independentes. A Figura 2.10 ilustra um pacote PES, os campos do cabeçalho e a carga de informações transportadas.

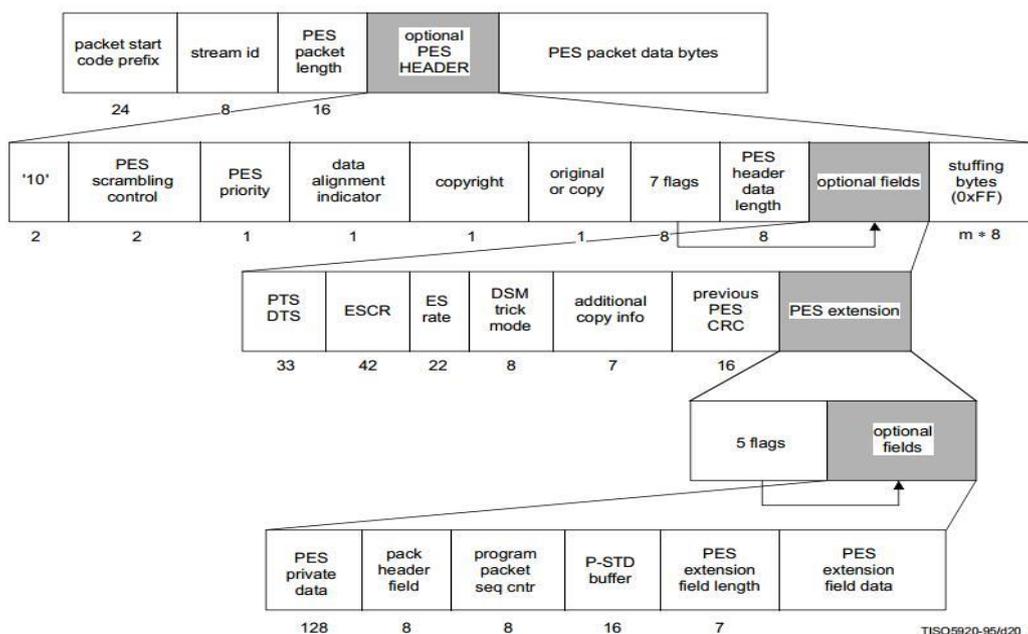


Figura 2.10 - Estrutura do pacote PES e suas seções.
Fonte: ABNT NBR 15606-3 (2007).

Cada campo possui sua respectiva função, geralmente são valores binários ou *flags* que dependendo do valor podem retornar diferentes configurações ou informações contidas dentro desse cabeçalho PES, esses campos estão padronizados na norma ABNT NBR15602-3, assim como suas descrições. No próximo parágrafo uma breve explicação de como funciona a decodificação desses campos (G. BEDICKS, 2007).

Tudo começa com o primeiro campo decodificado *start_code_prefix*, que indica onde inicia o cabeçalho PES, sempre por um código prefixo de 24bits. É utilizado por um sistema de transmissão por radiodifusão terrestre de televisão digital no padrão brasileiro.

Tabela 2.2 - Associação dos *stream_code* com seus respectivos valores.

stream_id	Note	stream coding
1011 1100	(1)	program_stream_map
1011 1101	(2)	private_stream_1
1011 1110		padding_stream
1011 1111	(3)	private_stream_2
110x xxxx		ISO/IEC 13818-3 or ISO/IEC 11172-3 or ISO/IEC 13818-7 or ISO/IEC 14496-3 audio stream number x xxxx
1110 xxxx		ITU-T Rec. H.262 ISO/IEC 13818-2 or ISO/IEC 11172-2 or ISO/IEC 14496-2 video stream number xxxx
1111 0000	(3)	ECM_stream
1111 0001	(3)	EMM_stream
1111 0010	(5)	ITU-T Rec. H.222.0 ISO/IEC 13818-1 Annex A or ISO/IEC 13818-6_DSM-CC_stream
1111 0011	(2)	ISO/IEC_13522_stream
1111 0100	(6)	ITU-T Rec. H.222.1 type A
1111 0101	(6)	ITU-T Rec. H.222.1 type B
1111 0110	(6)	ITU-T Rec. H.222.1 type C
1111 0111	(6)	ITU-T Rec. H.222.1 type D
1111 1000	(6)	ITU-T Rec. H.222.1 type E
1111 1001	(7)	ancillary_stream
1111 1010		ISO/IEC 14496-1_SL-packetized stream
1111 1011		ISO/IEC 14496-1_FlexMux_stream
1111 1100		metadata stream
<u>1111 1101</u>	(8)	<u>extended_stream_id</u>
1111 1110		reserved data stream
1111 1111	(4)	program_stream_directory

Existem mais de 60 códigos para a inicialização do PES, mas são utilizados para outros tipos de dados e serviços como IPTV. Outro campo importante é o *stream_id* que tem a finalidade de identificar as informações transportadas pelo pacote PES. Os valores dos campos do *stream_id* estão descritos na Tabela 2.2 abaixo:

O campo *PES_packet_lengh* é utilizado para identificar o comprimento do pacote PES. Esse comprimento é de no máximo 64kbytes. Quando todos os valores deste campo forem iguais a zero, significa que o pacote não tem um comprimento especificado. Assim que o tamanho é identificado, dois bits que indicam a carga útil das

informações e que se essas informações estão criptografadas, são definidas no campo *PES_scrambling_control*, essas criptografias são feitas porque o comprimento do pacote é fixo e facilita a iteração com o hardware. A Tabela 2.3 demonstra cada valor deste campo. (G. BEDICKS, 2007).

Tabela 2.3 - Descrição do campo *PES_scrambling_control* do cabeçalho PES.

Bin	Função
00	Indica que o embaralhamento da carga útil do pacote PES, não está presente.
01	Reservado.
10	O embaralhamento utiliza a chave de codificação par.
11	O embaralhamento utiliza a chave de codificação ímpar.

O Campo *PES_Priority* se torna utilizável para indicar que o pacote PES tem prioridade sobre os demais pacotes PES. Este campo é utilizado quando se julgar que a informação contida nos pacotes PES é necessária e essencial na decodificação das informações áudio-visuais. Em alguns sistemas de televisão digital este campo pode ser ignorado pelo decodificador, desta forma não surge nenhum efeito esperado de prioridade. Como por exemplo, o sistema de televisão digital europeu, o DVB, que ignora este campo na recepção. O campo *data_alignment_indicator* é responsável por indicar que a carga útil transportada deve iniciar com um “start_code” para os pacotes que contém as informações de vídeo ou qualquer palavra de sincronismo utilizando o *sync-word*. Os valores binários desses campos devem ser indicados no campo *data_stream_alignment_Descriptor*, por ser obrigatório. Existem dois campos que indicam que as informações transportadas pelos pacotes PES estão protegidas ou não, eles são chamados de *copyright* e *original_or_copy*, também verificam se pacotes PES estão protegidas por direitos autorais consequentemente. Devido a codificação, os quadros chegam ao receptor fora de ordem (quadros B podem depender de quadros futuros). Para saber quais campos devem ser decodificados e exibidos com um certo sincronismo, são indispensáveis inserção de algumas técnicas de controle de informações muito usadas no ramo de TV Digital, são eles: PTS e DTS. Eles acabam sendo inseridos nos pacotes PES, pois precisam de uma referência de tempo para se saber exatamente quando decodificar ou exibir, o PCR (referência de tempo) é adicionado ao gerar o TS (Transport Stream) no final. Os campos de PTS e DTS são de dois bits para entificar se existe PTS e DTS nos pacotes. A função deste campo está descrita na tabela abaixo 2.4 (G. BEDICKS, 2007).

Tabela 2.4 - Descrição do campo PTS_DTS_flags.

Bin	Função
00	Indica que o PTS e o DST não estão presentes no cabeçalho do pacote PES.
01	Não utilizado.
10	Indica que somente o PTS está presente no cabeçalho do pacote PES.
11	Indica que o PTS e o DST estão presentes no cabeçalho do pacote PES.

Iniciando assim o sincronismo entre as informações de áudio, vídeo e dados na saída do decodificador. A Figura 2.11 ilustra a formação do campo PTS:

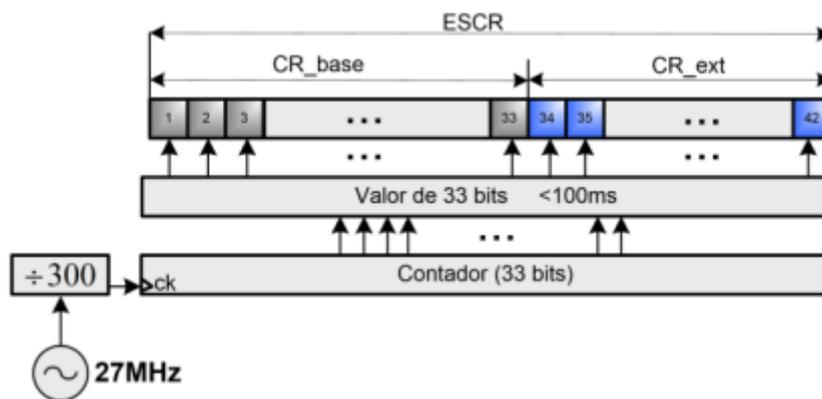


Figura 2.11 - Formação do campo PTS.
 Fonte: ISO/IEC 11172-1 (2009).

De acordo com M. UEHARA (2006), assim como o PTS, o DTS também é formado por 33 bits, gerados a partir da mesma base de *clock* do PTS, ou seja, providos do STC. Devido à ordem de formação dos diferentes tipos de quadros de vídeo MPEG não ser a mesma da apresentação, o campo DTS possibilita ao decodificador identificar quais são os quadros armazenados no buffer de sua entrada, sejam decodificados na sequência da ordem de apresentação correta. Existem campos com valores definidos para o DTS, iniciando com o campo composto por 42 bits chamado de ESCR, gerados também pela mesma base de *clock* do STC (System Time Clock). Ele é responsável pela transferência de *clock* do codificador para o decodificador, mantendo assim a sincronização dos elementary streams. O processo de transmissão é dividido em duas partes onde a primeira constitui o CR_base, e a segunda parte é composta de 9 bits, denominado CR_ext, que representa o restante a divisão. Em seguida um campo que transporta um valor numérico inteiro, representados por 22 bits que especifica a taxa dos bytes dos pacotes PES conhecido como ES_rate.

Existe um campo que é responsável por indicar que existe informações especiais como um *Video on Demand* (VoD), esse campo composto por 8 bits que são usados para distinguir essas informações especiais transportadas, como por exemplo *fast-forward* e *slow motion* é denominado *trick_mode_control*, que usando apenas 3 bits iniciais podem possuir diferentes valores e conseqüentemente ações específicas dependendo da combinação de valores, como ilustrado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Descrições previstas no campo *trick_mode_control*.

Valor	Função
000	<i>Fast forward</i>
001	<i>Slow motion</i>
10	<i>Freeze frame</i>
011	<i>Fast reverse</i>
100	<i>Slow reverse</i>
101 a 111	Reservados

O *previous_PES_packet_CRC* é um campo de 16 bits que contém o valor do CRC (Cyclic Redundancy Check), para a detecção da exatidão dos dados transmitidos. Ou seja, este código não corrige erros provocados pelas degenerações no sinal transmitido ou pelo canal de comunicação. A aplicação do código CRC, é feita somente na carga útil das informações do pacote PES, devido ao fato de que as informações contidas no cabeçalho sejam sujeitas alterações, durante o processo de transmissão. O código CRC também é conhecido como código polinomial, pois as suas strings de bits de saída, são tratadas como representações de polinômios com coeficientes 0 e 1. O polinômio gerador do código CRC para os pacotes PES é dado por uma expressão $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Os campos de flags como, por exemplo, *PES_private_data_flag*, *pack_header_field_flag*, *program_packet_sequence_counter_flag* e *PES_extension_flag_2*, só podem ser mostrados na decodificação caso o valor respectivo da flag seja igual a um. Caso contrário a flag se torna um campo invisível (M. UEHARA, 2006).

A Figura 2.12 mostra o início de um pacote PES, seus respectivos campos e a saída com todas as informações baseadas nos campos e *flags* definidos.

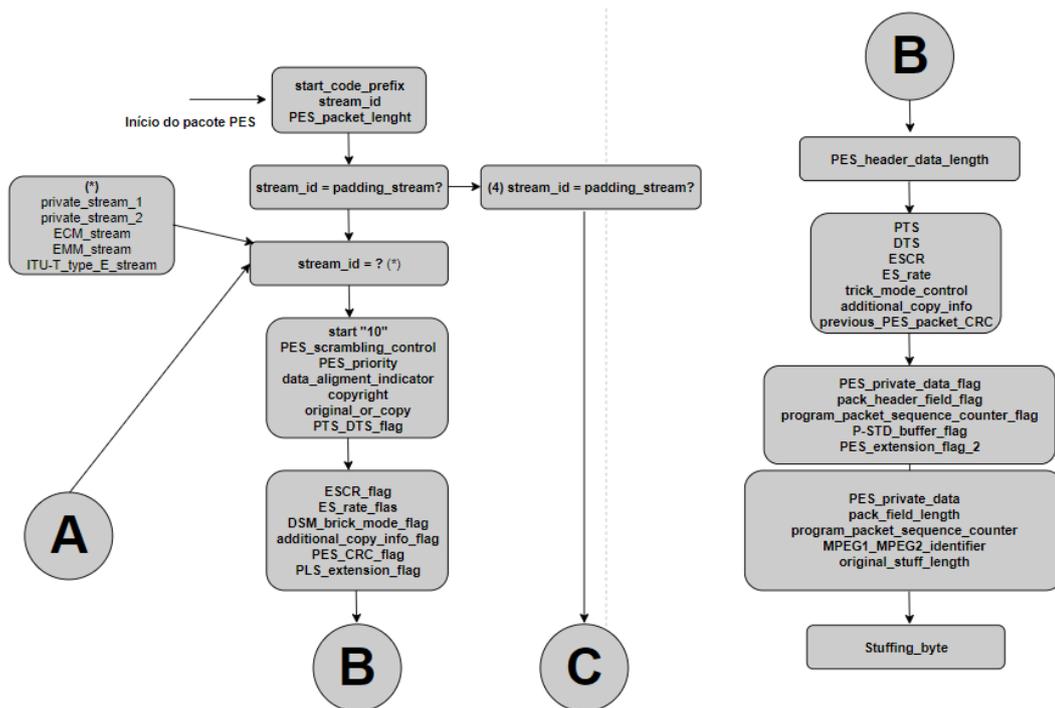


Figura 2.12 - Entrada e saída das informações do pacote PES.

Fonte: TEKTRONIX (2018).

2.7.3 - Estrutura e formação do *Transport Stream* (TS)

Transport Stream nada mais é do que um processo de multiplexação de vários pacotes PES. O sistema MPEG-2 define dois tipos de streams para o transporte (transmissão) das informações de áudio, vídeo e dados, contidos nos pacotes PES. A estes streams são chamados de Transport Streams e Program Streams. Esse processamento possui um código de correção de erros que estão dentro do sinal para tentar prover uma confiabilidade de informações enviadas ou até mesmo para remover uma informação enviada incorretamente nesse sinal. Por isso são fragmentados e novamente empacotados com comprimentos fixos de 188 bytes, ou 204 quando 16 bytes de código de correção de erro opcional forem adicionados. Dessa forma os cabeçalhos dos pacotes de TS devem conter as informações essenciais para o sistema de transmissão. Observe a Figura 2.13 que ilustra um pacote TS com seus campos do cabeçalho e seu campo de adaptação seguidos de campos opcionais com código de correção de erros PCR. (M. UEHARA, 2006).

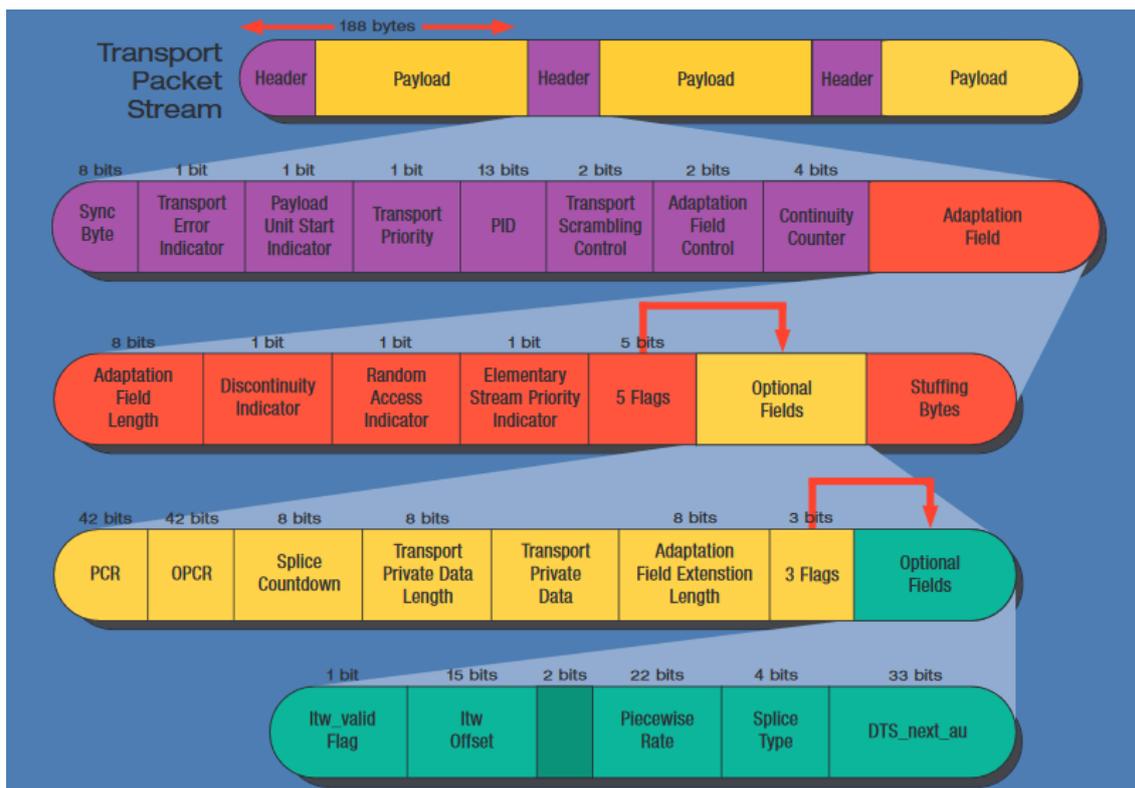


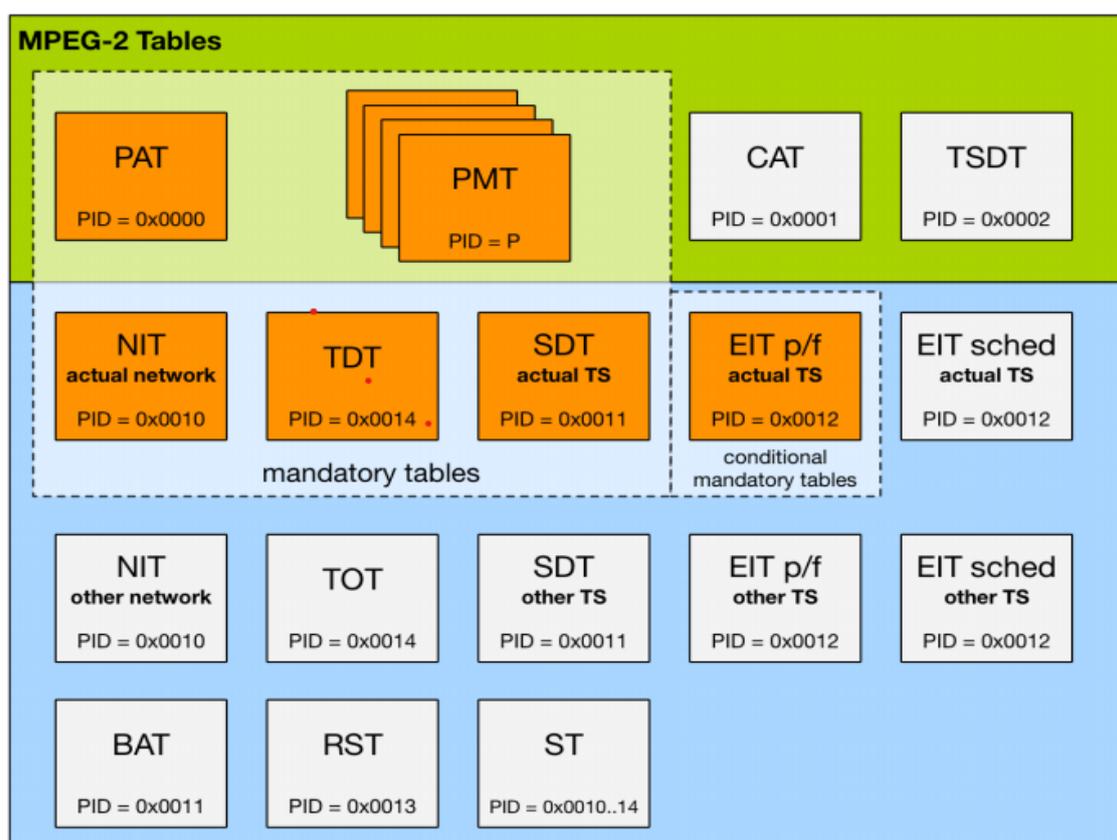
Figura 2.13 - Estrutura do Transporte Stream.
 Fonte: TEKTRONIX (2018).

O primeiro campo do cabeçalho de transport stream é o sync_byte, composto por 8 bits de valor 0x47 (01000111), esse valor não deve ser mudado, ele é padrão para o sistema de transmissão de televisão digital. Esse campo será utilizado pelo receptor no processo de decodificação do sinal. Todos os programas e analisadores de sinais de TV Digital validam um TS através do encontro de um sincronismo de início em cada pacote de TS.

Após sincronizar as informações através do 0x47, o decodificador passará a procurar as informações adicionais conhecidas como campo de adaptação, que tem campos reservados para montar um Transporte Stream. O campo que indica se o pacote contém erro ou não, todavia ele não é responsável por corrigir esse erro, se chama transport_error_indicator, pois o próximo campo chamado payload_unit_start_indicator deve verificar se existem informações no payload que representam o início de um PES ou uma seção PSI antes de passar pelo processo de correção CRC. Os pacotes são definidos de acordo com uma estrutura binária e suas prioridades, para verificar qual a prioridade e se ela é alta em relação aos demais pacotes, é usado o campo transport_priority. Já o campo PID (Packet Identifier) é um campo utilizado para identificar os pacotes de transport stream e quais informações deverão ser mostradas dependendo do seu valor

(M. UEHARA, 2006). Cada pacote possui diferentes informações como por exemplo, informações de áudio, vídeo e tabelas. Então esse campo de 13 bits é um identificador para listar essas informações de acordo a Norma ABNT NBR 15603-1 ilustrado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Valores do PID reservados para transmissão.



Após as decodificações do cabeçalho e do campo de adaptação, seguem a estrutura binária do campo chamado de `transport_scrambling_control`, ele possui 2 bits que indicam se o pacote de transport stream possui ou não embaralhamento (criptografia), este tipo de embaralhamento criptográfico pode ser realizado também de forma idêntica nos pacotes PES. Porém para o processo de criptografia aplicado nos pacotes PES são mais trabalhosos, quando se refere ao hardware, devido ao fato de possuírem comprimentos variáveis. O embaralhamento criptográfico é realizado no bloco CSA (Common Scrambling Algorithm) e padronizado pela Norma ETR 298-5 (ETSI Technical Report – European Broadcasting Union). Embora este processo seja normatizado, seus detalhes mais específicos de execução estão acordados a não divulgação, devido a direitos autorais. O próximo campo no processo de decodificação binária para um TS é o `adaptation_field_control`, que são dois bits que irão identificar a

existência do campo de adaptação ou payload. Esses são definidos em modos de acordo com a ITU H.222-0 / ISO/IEC 13818-1 como mostrado na Tabela 2.7 (M. UEHARA, 2006).

Tabela 2.7 - Modo de identificação do Payload e campo adaptativo.

Valor	Função
00	Reservado
01	Sem campo adaptativo, apenas o Payload
10	Apenas o campo adaptativo, sem Payload
11	Campo adaptativo e o Payload

O adaptation field torna-se responsáveis pelas informações de controle e sincronismo do sistema de transmissão, são campos logo após o cabeçalho que podem ou não estar presentes, caso definidos no adaptation_field_control, usando o adaptation_field_length é possível identificar o comprimento em bytes da área do adaptation field e do payload.

As flags são obtidas por valores lógicos de zero ou um, como por exemplo, PCR_flag igual a 1 deve indicar se vai existir o campo PCR e OPCR_flag igual a 1 deve indicar se vai existir o campo OPCR no transport stream. Nesse processo, todas as informações provenientes dos codificadores, geradores e as tabelas de sistema são multiplexadas, combinando todas as entradas em um único TS juntamente com as tabelas de informação que serão descritas, e com isso já pode consequentemente passar pelo processo de transmissão para ser analisado de acordo com a norma brasileira de televisão digital (M. UEHARA, 2006).

2.8 - PROGRAM SPECIFIC INFORMATION (PSI)

Em estudos realizados por HEISKALA (2002), para receber um programa específico, apenas a transmissão não é o bastante. Pois os sinais de vídeo, áudio e possivelmente dados são divididos em vários sinais dentro de um TS. Para distinguir, é necessário usar as tabelas PSI que compreendem as informações necessárias para que o receptor possa procurar e decodificar o programa desejado no fluxo de dados. As tabelas geralmente são compostas de pacotes separados com seu próprio PID. As informações de serviço (ISDB-Tb) são baseadas em quatro tabelas SI, além de uma série de tabelas opcionais. Cada tabela contém campos ordinários e descritores que descrevem as

características dos serviços ou eventos que estão sendo enviados pelas emissoras. Cada descritor pode ter um conjunto de sub descritores capazes de mudarem parâmetros da transmissão atual. Os dados PSI estão estruturados nas quatro tabelas a seguir: PAT (Tabela de Associação de Programa) que indica a localização, ou seja, os valores de Identificador de Pacote (PID) dos pacotes TS. A tabela TOT (Time Offset Table) que transporta as informações de data, hora e fuso horário para o receptor. Também fornece a NIT (Tabela de informações de rede) que contém informações relacionadas à organização física dos multiplexadores transportados por uma rede especificada e as informações de ajuste relevantes. A tabela de acesso condicional (CAT) fornece informações sobre o sistema de acesso condicional (CA) usado no multiplexer. A tabela de descrição de serviço (SDT) contém dados que descrevem os serviços no sistema, como nomes de serviços, provedor de serviços e outros parâmetros associados a cada serviço/canal de televisão digital. De acordo com a norma brasileira, a transmissão das tabelas TDT, RST, NBIT, LDT, BAT, LIT, ERT, ITT e PCAT estão reservadas para futuras implementações do sistema brasileiro de televisão digital, ou seja, existe um PID específico e reservado para cada uma delas para uso futuro. A Figura 2.14 ilustra exatamente como é formada uma seção PSI utilizando os valores do table_id e quais campos necessários para cada tabela listada (J. HEISKALA e J. TERRY, 2002).

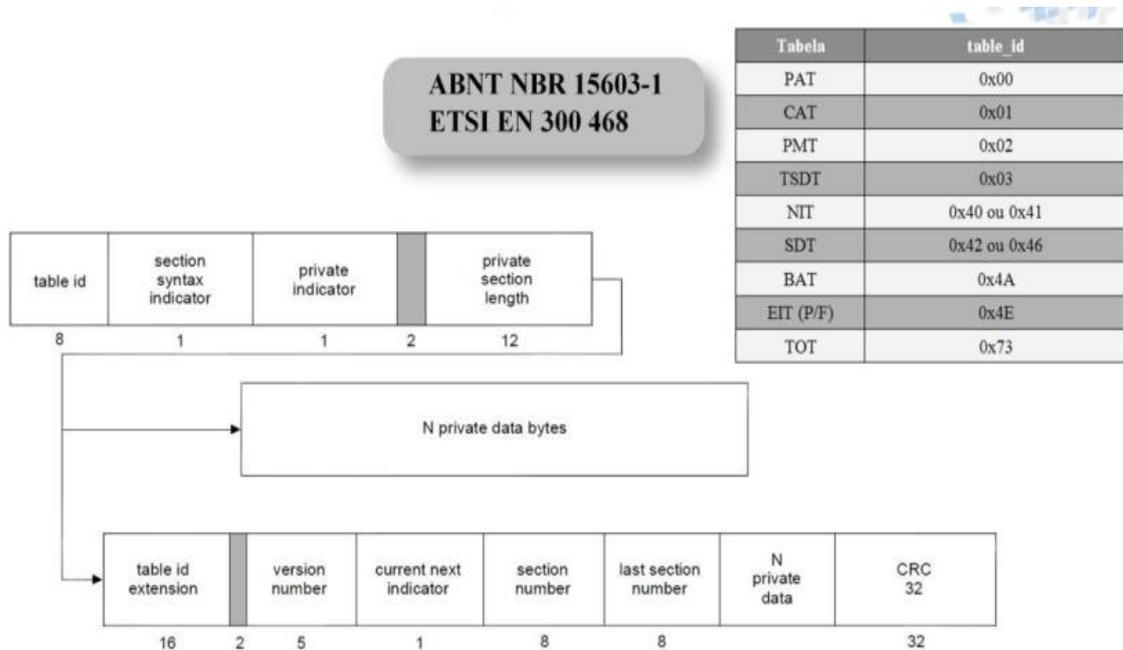


Figura 2.14 - Estrutura genérica de uma seção PSI.
Fonte: NBR 15603-1 (2008).

Todas as estruturas de bits das tabelas do sistema de televisão digital podem ser encontradas na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Estrutura de bits das tabelas PSI.

Sigla da Tabela	PID (bytes)
PMT	Designado indiretamente pela PAT
CAT	0x0001
NIT	0x0010
SDT	0x0011
BAT	0x0011
EIT	0x0012
EIT (0x transmissão de TV terrestre)	0x0012, 0x0026, 0x0027
RST	0x0013
PAT	0x0000
TDT	0x0014
TOT	0x0014
PCAT	0x0022
BIT	0x0024
NBIT	0x0025
LDT	0x0025
ST	Exceção 0x0000, 0x0001, 0x0014
Pacotes Nulos	0x1FFF

2.9 - DESCRITORES (PSI)

Os descritores do padrão brasileiro ISDB-Tb não são obrigatórios, foram definidos como informações opcionais para a formação das tabelas PSI. Dependem exclusivamente da forma que forem implementados, pois fornecem informações adicionais sobre alguns fluxos relacionados às tabelas ou do sistema de transmissão. Eles possuem uma estrutura básica transportados dentro das seções conforme a tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Estrutura dos descritores PSI.

Descriptor_tag	Descriptor_length	Componente_tag
8 bits	8 bits	N bits

O *descriptor_tag* é responsável por identificar cada um dos descritores relacionados a cada tabela. Enquanto o *descriptor_length* indica a quantidade de bytes que são ocupados, ou seja, o tamanho deles. E o *component_tag* tem por finalidade identificar cada um dos componentes do stream de um serviço, a fim de serem diferenciados (J. HEISKAL, 2002).

Mesmo não sendo obrigatório, alguns descritores são recomendados em uma transmissão, como na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Descritores recomendados em uma transmissão.

Table ID	Tabela	Descritores	Distribuição
0x02	PMT (1° loop)	Digital Copy Control Descriptor	Enviado quando necessário
		Content Availability Descriptor	Enviado quando necessário
	PMT (2° loop)	Parental Rating Descriptor	Enviado quando necessário. Recomendado na EIT
		Stream Identifir Descriptor	Enviado quando necessário
		Video Decode Control Descriptor	Enviado quando necessário
		AAC Descriptor	Sempre enviado.
0x40	NIT (1° loop)	Network Name Descriptor	Sempre enviado.
		System Management Descriptor	Sempre enviado.
	NIT (2° loop)	Service List Descriptor	Sempre enviado.
		Terrestrial Delivery System	Sempre enviado.
		TS Information Descriptor	Sempre enviado.
		Partial Reception Descriptor	Enviado quando necessário
0x42	SDT	Service Descriptor	Sempre enviado
0x4E	EIT	Event Information Descriptor	Sempre enviado
0x73	TOT	Local Time Offset Descriptor	Sempre Enviado

2.10 - ENGENHARIA DE SOFTWARE

2.10.1 - Definição

Segundo PRESSMAN (2016) a engenharia de software é uma área da tecnologia da informação ou computação voltada à especificação, desenvolvimento e suporte de software, que aplica tecnologias e práticas de gestão de projetos, visando o desenvolvimento de um produto de software com organização, produtividade e qualidade. Ainda segundo o autor, essa área inclui o uso de princípios da engenharia, para que se possa obter economicamente um software que seja confiável e que solucione com eficiência os problemas reais.

A engenharia de software é uma disciplina computação relacionada a todos os aspectos de produção de software, englobando todas as etapas de desenvolvimento, através de técnicas, ferramentas e métodos que auxiliarão neste processo (SOMMERVILLE, 2011).

2.10.2 - Áreas da engenharia de Software

De acordo com o guia de conhecimento em engenharia de software (SWEBOK, 2004) os ramos de atuação da área são:

- Gerência de configuração: busca garantir que as demandas sejam realizadas de modo adequado;
- Gestão de projetos: trata-se da análise e controle das atividades organizados através de cronogramas, visando alcançar o objetivo em tempo hábil e razoável, de acordo com os requisitos mencionados e racionalização de custos e recursos;
- Processos: aplica-se ao ciclo de vida e utilização do software quando algum método é inserido visando otimizar o produto através da eliminação de gargalos operacionais;
- Ferramentas e métodos: permitem automatizar ações repetitivas, constantes e bem definidas;
- Qualidade: trata-se da conformidade, do denominador comum, entre os requisitos funcionais e de desempenho;

- Requisitos: informações adquiridas e que se referem às exigências do negócio, desejos e solicitações, que devem ser realizadas e materializadas pelo software;
- Design: área que define a arquitetura, componentes e interfaces entre homem e máquina que serão utilizadas pelo sistema;
- Construção: trata-se da área onde ocorre a codificação. Como as informações coletadas, a arquitetura escolhida e o design em mente, o programador começa a utilizar a linguagem de programação com o intuito de materializar todos os requisitos num software;
- Testes: fase em que o engenheiro busca de forma incessante identificar erros no produto construído, visando corrigi-lo;
- Manutenção: ocorre após a implantação do software. A manutenção poderá ser corretiva, adaptativa, perfectiva e preventiva. Muitas atualizações fazem parte dessa fase visando diminuir falhas e aumentar sempre a segurança, estabilidade e performance da aplicação.

2.10.3 - Processos de desenvolvimento de Software

Um processo pode ser visto como um conjunto sequencial e particular de ações com objetivo comum. No desenvolvimento de software é importante seguir um processo de desenvolvimento, a fim de compreender, controlar e melhorar o que acontece durante o desenvolvimento (PRESSMAN, 2016).

SOMMERVILLE (2011), descreve processo de software como: “Um conjunto de atividades cujo objetivo é o desenvolvimento ou a evolução do software”, esse conjunto é composto por atividades consideradas fundamentais para o desenvolvimento do software, das quais se destacam:

- Especificação de requisitos: atividade destinada a coletar e analisar os dados obtidos com o objetivo de definir as funcionalidades e limitações que existirão no software;
- Desenvolvimento: atividade destinada à programação do software, ou seja, inicia o desenvolvimento do código fonte através de implementações já determinadas de acordo com as especificações que já foram definidas;

- Validação e verificação: atividade destinada para verificar se as funcionalidades do software estão de acordo com o especificado nos processos, para revisar as especificações.
- Documentação: atividade realizada para documentar as funcionalidades, código fonte e possíveis alterações no decorrer do desenvolvimento.

2.10.4 - Vantagens da engenharia de Software

Devido à complexidade dos problemas a serem resolvidos através de um software, a engenharia surge como uma área do conhecimento capaz de estruturar de forma científica e lógica, todo o processo de construção do produto de software. Portanto, para que toda essa complexidade de processos se integralize de modo organizado e produtivo, utiliza-se a engenharia de software, que também é capaz de aumentar a qualidade e reduzir os custos de um projeto. Além disso, toda equipe envolvida consegue captar, gerir e aperfeiçoar o que ocorre durante o processo de desenvolvimento.

A utilização da engenharia de software beneficia muito o processo de desenvolvimento do sistema, assegurando a qualidade da aplicação, satisfação dos clientes, organização, motivação da equipe, redução de retrabalho nas rotinas de software, redução do suporte ao cliente, economia e planejamento.

De acordo com VON MAYRHAUSER (2012), o sucesso no desenvolvimento da aplicação depende de uma sequência de passos que se inicia numa análise de requisitos bem esmiuçada e culmina na participação integralizada e efetiva da equipe e dos usuários. Além disso, deve-se escolher a plataforma de softwares e hardwares que melhor se adequem às necessidades do cliente.

As demandas têm crescido rapidamente e profissionais de área de tecnologia da informação, muito habilidosos, estão contribuindo com esse avanço. Porém, não adianta uma boa formação e uma excelente gama de conhecimento em programação, se não houver planejamento, monitoramento e controle do projeto. O gerente de projetos, visando organizar os processos, deve utilizar conhecimentos e métodos da engenharia de software.

2.10.5 - Projeto e implementação

É nesta fase que ocorre a produção do código-fonte e implementações de sugestões viáveis. O projeto estrutural do software pode ser desenvolvido através de várias metodologias, cada uma com a sua especificidade.

Existem diversos métodos para o desenvolver o projeto estrutural do software, cada um com a sua especificidade. Dentre todos, os que mais se destacam são: modelo estruturado e orientado a objetos (PRESSMAN, 2016).

Segundo (PRESSMAN, 2016), a tendência é que muitos padrões de projetos e modelos de arquitetura específicos para o desenvolvimento de PEPs estejam disponíveis de forma colaborativa à toda comunidade.

2.10.6 - Teste de Software

Um software pode ser testado de diversas formas, baseado em inúmeras técnicas para garantir o bom funcionamento e a qualidade do. O teste serve para atestar a segurança do software mantê-lo livre de falhas.

Segundo (VON MAYRHAUSER, 2012), algumas técnicas utilizadas são: teste de integração, sistema e aceitação. A técnica alpha-test, uma das mais conhecidas e utilizadas, ocorre num ambiente contendo usuários e desenvolvedores. Na beta-teste, o software é testado por uma gama maior de usuários, que repassam informações relevantes aos analistas de sistemas, em caso de falhas. Essas técnicas visam avaliar a estabilidade, confiabilidade e validação de módulos do sistema (VON MAYRHAUSER, 2012).

2.10.7 - Validação e entrega do produto

No momento em que o sistema é validado, aceito e instalado, torna-se extremamente necessário ajudar os usuários a manipular corretamente os dados do sistema através de sessões de treinamento (PFLEEGER, 2009).

A operação do sistema depende de uma mão-de-obra qualificada. Portanto, é essencial que o treinamento seja realizado para que os usuários e operadores possam operar o sistema adequadamente, tornando o processo que depende do software ainda mais eficiente.

A documentação que acompanha o sistema também é extremamente relevante, pois será utilizada como base para a solução de problemas posteriores, tanto pelos usuários, quanto novos desenvolvedores. Essa documentação inclui manuais do usuário e do operador, guia geral de utilização do sistema, tutoriais, ajuda e guias de referência rápida, dentre outros recursos (PFLEEGER, 2009).

2.10.8 - Manutenção de Software

A manutenção, dentro do ciclo de vida do software, é a etapa mais custosa. Isso geralmente ocorre devido ao fato dos analistas, gestores e programadores serem negligentes quanto ao planejamento nas fases antecedentes. As pessoas envolvidas na fase de manutenção de software irão trabalhar nos problemas conhecidos, localizá-los e preparar novas versões do software, conhecidas como versões de manutenção, a qual irá atualizar a documentação de problemas.

Ainda de acordo com (PRESSMAN, 2011), a estrutura de dados e interface do software deve ser flexível e escalável visando inserções de demandas evolutivas, preventivas e corretivas. Dessa forma, a manutenção torna-se mais tranquila e segura.

2.10.9 - Processo de avaliação do Software

O processo de avaliação do software foi realizado por dez profissionais, sendo cinco da área de engenharia de software e cinco da área de desenvolvimento tecnológico. Como critérios para a seleção dos engenheiros de software, foram selecionados somente aqueles que possuem experiência, de ao menos um ano, na utilização de sistemas embarcados e TV Digital. E como parâmetro para seleção dos profissionais de desenvolvimento, tornou-se imprescindível e obrigatório conhecer alguma linguagem de programação, ter mais que dezoito anos e possuir experiência de no mínimo um ano na área de desenvolvimento de software, gerência de projetos de softwares ou suporte a sistemas. Todos os profissionais atenderam aos critérios estabelecidos, possuindo formação e experiência no conteúdo testado.

O processo foi dividido em duas fases, conforme orientação da ABNT (2004). Primeiramente o usuário utiliza a aplicação de modo bem abrangente, simulando um processo de decodificação e análise de um TS e depois responde a um formulário sobre os atributos mais relevantes que um software deve conter. Ainda segundo a

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004), as características mais importantes contidas em um sistema de informação são: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, performance, compatibilidade, segurança, adaptabilidade e manutenção. Na segunda fase do processo de avaliação, haverá um formulário com perguntas sobre cada característica, que devem ser respondidos com: de acordo, desacordo ou não se aplica. A ABNT NBR ISO/IEC 14598-6 (2004) orienta o descarte

das repostas "não se aplica". Após a resposta do questionário, será gerada uma média aritmética com o percentual do atributo, que servirá como parâmetro para aprovação, acima de 70%, ou reprovação.

É importante salientar que o número de participantes de cada grupo respeitou o critério da NBR ISO/IEC 14598-6, norma brasileira da International Organization Standardization/International Electrotechnical Commission, que indica o mínimo de oito avaliadores de modo a se obter resultados confiáveis e fidedignos (ABNT, 2004).

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE DO SINAL DE TV DIGITAL NO PADRÃO SBTVD

Como citado anteriormente, este trabalho propõe a criação de uma metodologia de análise para o sinal digital no padrão SBTVD. Neste capítulo é descrito o tema que está sendo proposto, assim como os testes utilizando a metodologia de análise de sinais, tecnologia de TV Digital e técnicas de análise de dados dentro dos arquivos *Transport Stream*, desde a decodificação até o processo de análise e consequentemente as normas que regem esse sistema (ABNT).

No entanto, a metodologia ficou subdividida em três etapas: gravação do sinal digital TS através do dispositivo Dektec DTU-238, leitura do arquivo na interface gráfica e resultados da análise do arquivo, sendo destacada na cor vermelha caso possua alguma irregularidade no processo de análise. O Apêndice I mostra a documentação do software baseada nas técnicas de engenharia de software citadas anteriormente.

3.1 - AMBIENTE DO SISTEMA DE ANÁLISE DE SINAL DIGITAL (TS)

O funcionamento do sistema foi desenvolvido através de uma Interface Gráfica do Usuário (GUI) com os comandos de input que interagem facilmente com qualquer usuário para facilitar a criação de TS's, análise e report de problemas caso encontrado. A interface foi adaptada com o uso de uma *Integrated Development Environment* (IDE), que foi escolhido pela praticidade de que caso seja necessário qualquer tipo de atualização ou melhoria posteriormente e por ser de fácil utilização em um sistema operacional livre, o Linux. De acordo com essas informações, as soluções mais viáveis seriam utilizar:

- Code Blocks (<http://www.codeblocks.org/>, 10/10/2019): É uma IDE que fornece recursos abrangentes para programadores de computador no desenvolvimento de software em C ou C++. Possui um editor de código-fonte, ferramentas de automação de compilação e um depurador que facilita o processo de codificação de aplicações para sistemas embarcados e por se tratar de uma IDE livre;
- Qt Creator (<https://www.qt.io/>, acesso em 10/10/2019): IDE utilizada com menos frequência no laboratório, interesse da equipe por conhecê-la; poucos

programas criados no laboratório a utilizam, em especial o ControleTuner; possibilidade de utilizá-lo no Windows, Linux e Mac OS e plataformas mobile e; é um software livre;

- Dektec DTU-238 (<https://www.dektec.com/products/USB/DTU-238/>, acesso em 10/10/2019) é uma solução abrangente projetada para fornecer análise e monitoramento em tempo real de sinais terrestres e de cabos (canais DVB-T / T2, DVB-C / C2 e ISDB-T RF) deve ser trabalhado em conjunto com a sonda de RF DTU-238, como mostra a Figura 3.1;
- MongoDB (<https://www.mongodb.com/>, acesso em 10/10/2019): É um banco de dados não-relacional e orientado a documentos que armazena dados em documentos do tipo JSON com esquema dinâmico. Isso significa que você pode armazenar seus registros sem se preocupar com a estrutura de dados, como o número de campos ou tipos de campos para armazenar valores. Documentos MongoDB são semelhantes a objetos JSON.



Figura 3.1 - Dispositivo de captura DTU-238.
Fonte: DEKTEC (2019).

O dispositivo DTU-238 possui uma entrada RF para receber o sinal transmitido na frequência selecionada. Com a frequência definida e ajustada, é necessário verificar se as entradas USB do dispositivo estão conectadas ao PC, pois as entradas USB indicam que a fonte de alimentação está ligada, a mesma é indicada por um led aceso na

cor verde. Esse adaptador pode sintonizar qualquer frequência UHF/VHF e canais a cabo na faixa de 12 a 1002 MHz.

3.2 - CAPTURA DO ARQUIVO TS PARA ANÁLISE

Para capturar um sinal, é necessário abrir a interface gráfica por linha de comando no terminal usando `./SATCli`. Após a execução desse comando, o terminal continua aberto, junto com a interface gráfica como mostra a Figura 3.2.

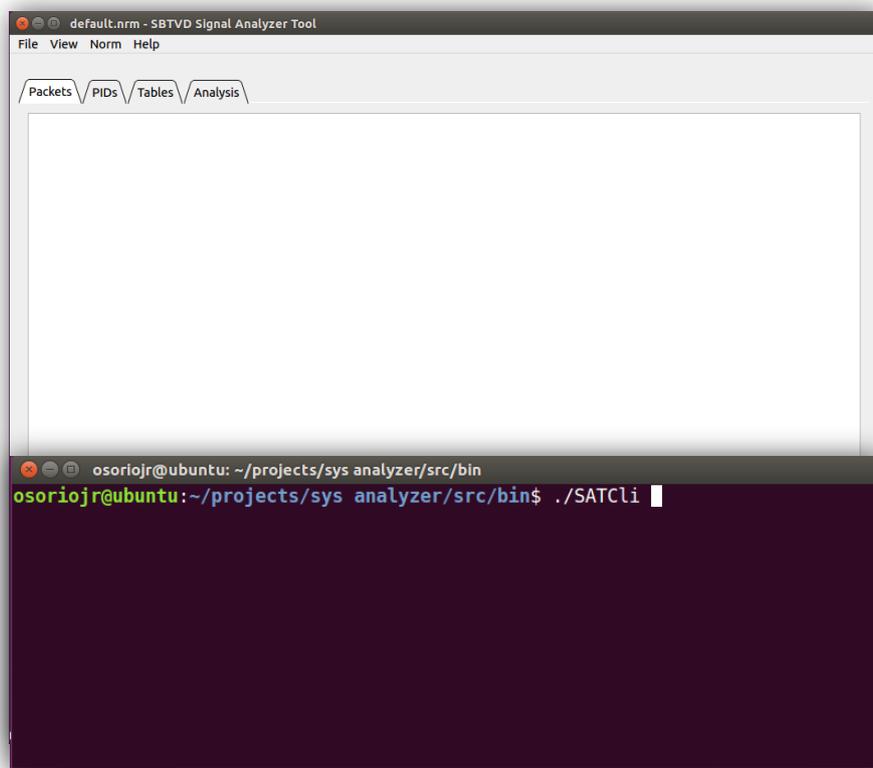


Figura 3.2 - Tela principal do analisador.

Ao clicar em “File” e em seguida em “Capture”, irá abrir a aba para captura de um TS em tempo real, como mostra a Figura 3.3 abaixo.

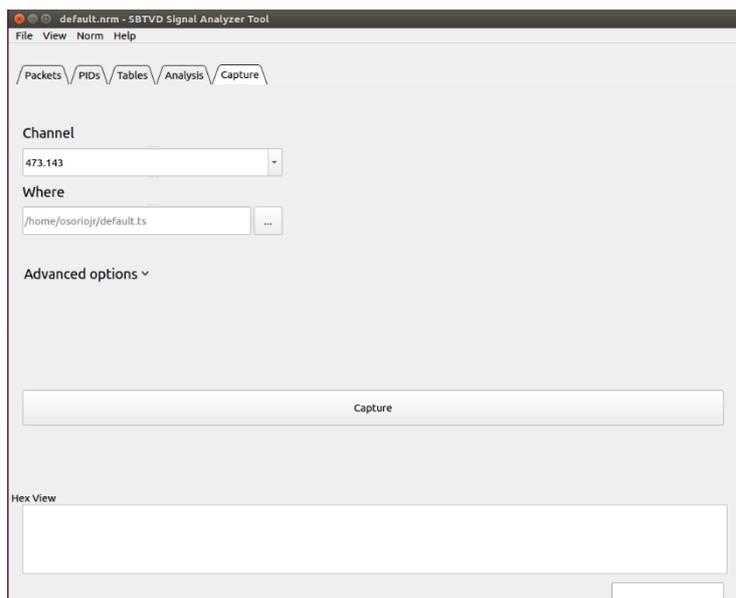


Figura 3.3 - Tela principal de captura do sinal digital.

A tela de captura possui uma opção de inserir a frequência para o canal desejado, por exemplo, caso o canal em análise seja a Rede Amazônica, a frequência setada deverá ser 479.143 Mhz. O local onde o arquivo TS será gerado pode ser alterado para qualquer caminho no sistema operacional e clicando em “Capture” é iniciado o processo de gravação do TS como mostra a Figura 3.4.

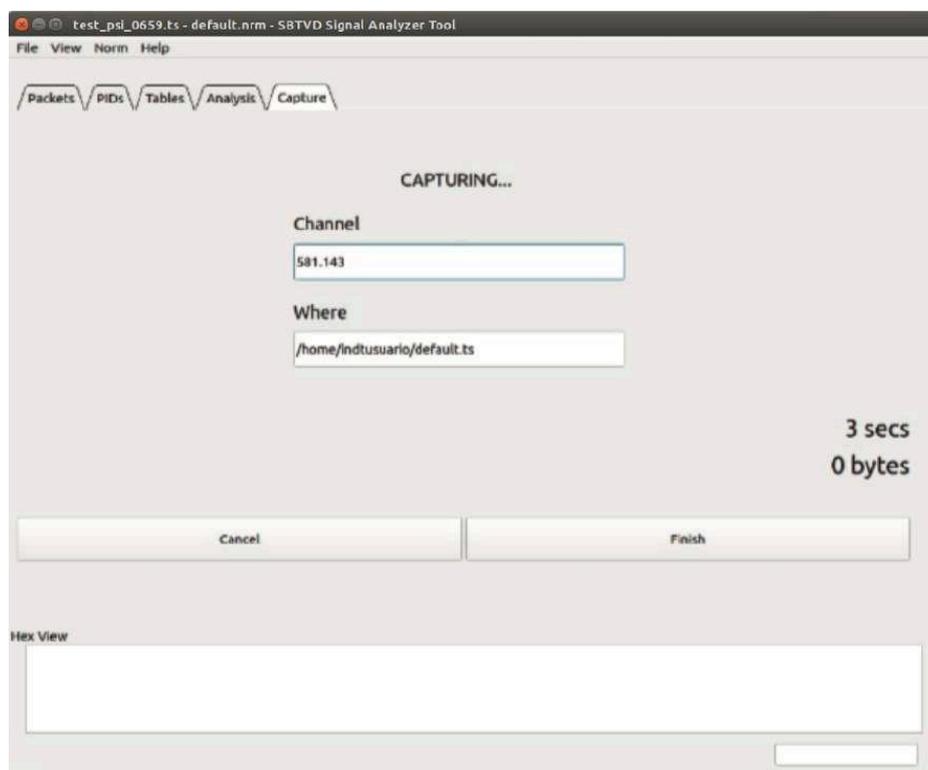


Figura 3.4 - Processo de gravação de um TS.

Em qualquer momento depois que é pressionado “Capture”, é possível cancelar ou terminar uma captura, mesmo que tenha definido as opções avançadas de tamanho e tempo do arquivo. Caso não seja necessário interromper, a gravação continuará normalmente seguindo os parâmetros definidos. O arquivo TS gerado vai para o local especificado, caso contrário irá para o diretório padrão do sistema (/home/[usuário]).

3.3 - ANÁLISE DO ARQUIVO TS

O processo de análise é feito através de uma estrutura de algoritmos que tem por finalidade mostrar os resultados obtidos na interface gráfica, assim toda a estrutura de pacotes, PIDs e tabelas são decodificadas e organizadas em abas na interface. Existe a necessidade de carregar um arquivo no formato XML com a extensão (.nrm), onde consta toda a estrutura de bytes que será decodificado no processo de parse. Pressionado a opção “Norm” será aberto uma tela para selecionar o arquivo XML que será carregado na aplicação, caso não tenha um arquivo específico, a própria aplicação carrega automaticamente uma norma default que está configurada para o padrão brasileiro de TV Digital – SBTVD como ilustrado na Figura 3.5.

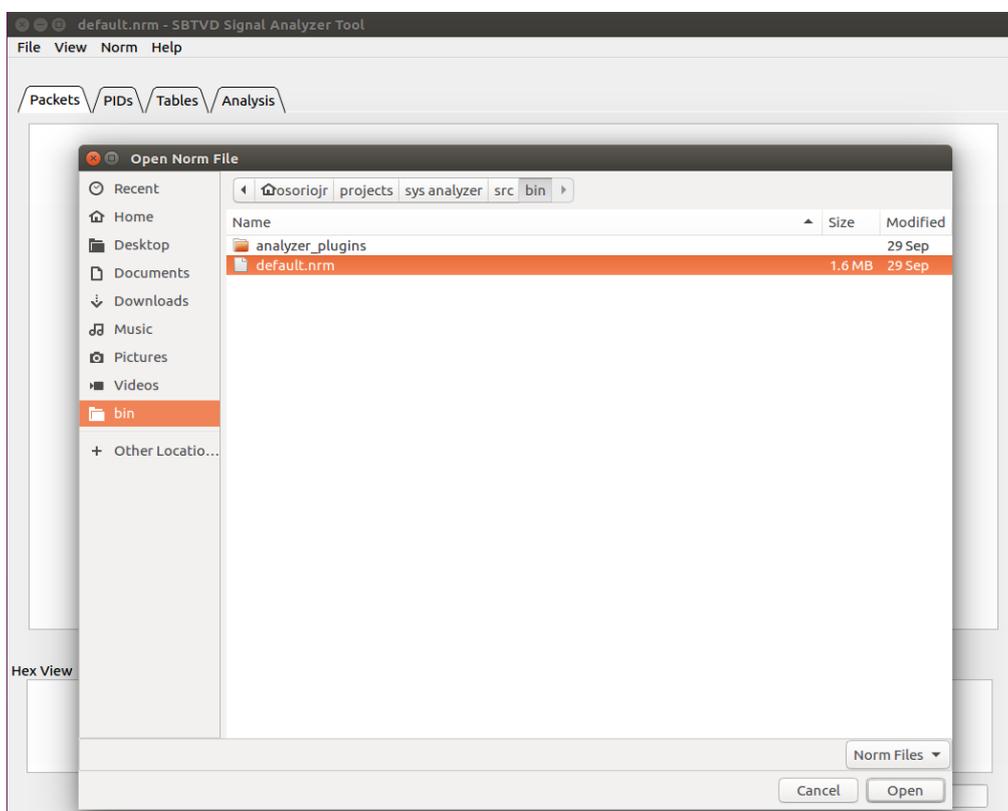


Figura 3.5 - Carregamento de um arquivo default XML (.nrm).

Foi escolhida essa opção de carregamento XML, pois o sistema de televisão digital sofre pequenos ajustes, não é muito comum ocorrer os ajustes, mas pensando na facilidade de editar sem precisar alterar os códigos do algoritmo, ou seja, apenas editando o arquivo XML para adaptar ao padrão de TV ou mudanças na própria estrutura de pacotes como, por exemplo, a adição de um campo inexistente ou até mesmo o uso de alguma tabela reservada. A Figura 3.6 ilustra a decodificação dos campos do cabeçalho de um TS em um arquivo XML com extensão nrm, onde qualquer campo pode ser alterado ou adicionado caso necessário.

```
<field name="sync_byte" size="8" description="synchronicit byte"/>
<field id="transport_error_indicator" name="transport_error_indicator" size="1" description="$TRANSPORT_ERROR_INDICATOR_MEANING"/>
<field id="payload_unit_start_indicator" name="payload_unit_start_indicator" size="1" description="$PAYLOAD_UNIT_START_INDICATOR_MEANING"/>
<field name="transport_priority" size="1" description="$TRANSPORT_PRIORITY_MEANING"/>
<field id="PID" name="PID" size="13" description="$PID_MEANING"/>
<field id="transport_scrambling_control" name="transport_scrambling_control" size="2" description="$TRANSPORT_SCRAMBLING_CONTROL_MEANING"/>
<field id="adaptation_field_control" name="adaptation_field_control" size="2" description="$ADAPTATION_FIELD_CONTROL_MEANINGS"/>
<field name="continuity_counter" size="4" description="Increments with each transport stream with the same PID"/>
```

Figura 3.6 - Edição de um arquivo default XML (.nrm).

Com a norma propriamente carregada, o sistema passa a esperar por um arquivo com a extensão .ts que será analisado com base nas definições XML editados de acordo com o padrão SBTVD. O processo de análise é feito simultaneamente quando o arquivo é carregado no sistema, esse processo é feito através do menu File > Open e uma tela será aberta para seleccionar o arquivo, como visto na Figura 3.7.

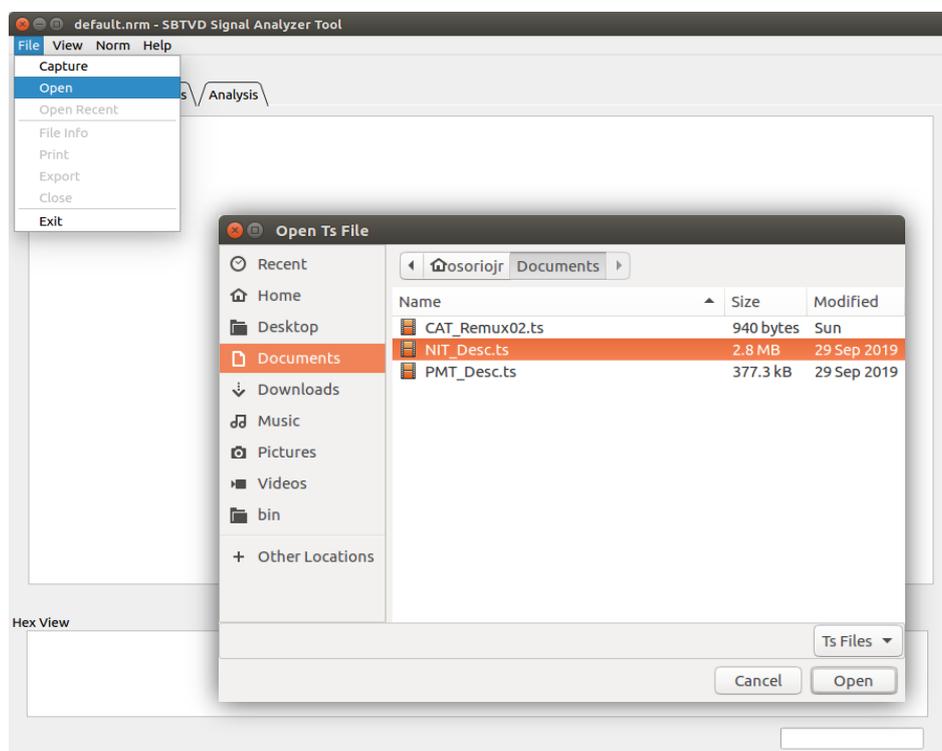


Figura 3.7 - Abrindo o arquivo TS para análise.

O processo de análise do arquivo aberto no sistema é variável e pode demorar de acordo com o tamanho do arquivo que está sendo analisado, por exemplo, um arquivo TS de 1 minuto pode ter um tamanho de aproximadamente 200MB e seu processo de análise pode demorar em torno de 2 a 3 minutos, mostrando a mensagem “Finished Loading ts File” na interface, como ilustrado na Figura 3.8.

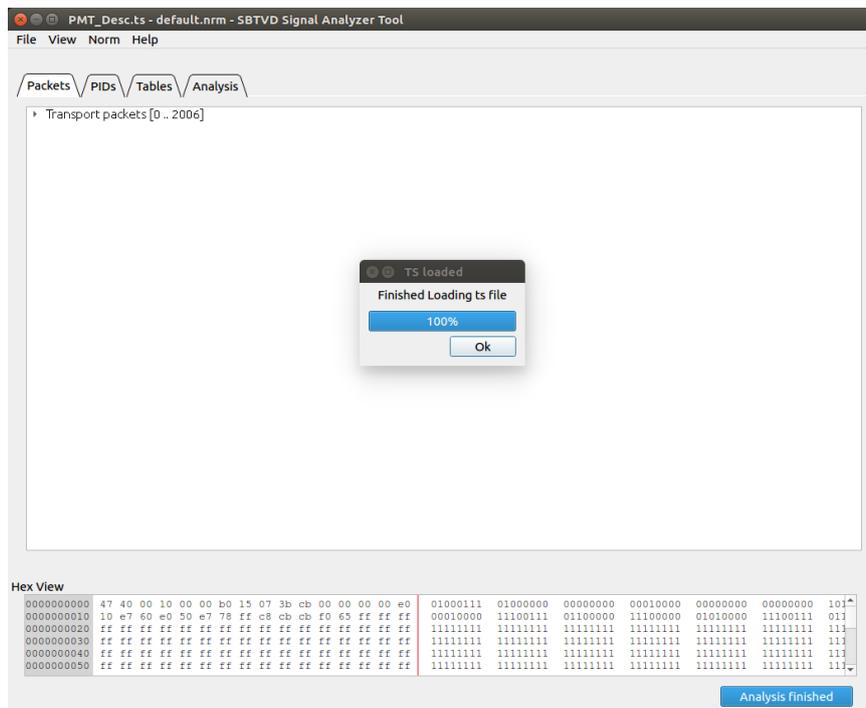


Figura 3.8 - Arquivo TS carregado no sistema.

3.4 - RESULTADO DAS ANÁLISES DO TS

O resultado da análise é mostrado na aba “Analysis”, onde as inconsistências que são destacadas na cor amarela se tratam de um alerta onde algo pode atrapalhar a transmissão ou vermelho quando for um erro propriamente dito que precisa ser alterado com urgência para a forma correta levando em consideração a norma brasileira. Os analisadores são numerados de forma incremental, cada analisador tem uma função para decodificação de informações. A Figura 3.9 ilustra um TS incorreto, pois o mesmo não apresenta a tabela EIT, que de acordo com a normal, é uma tabela obrigatória para a transmissão digital. Cada erro pode ser mostrado com detalhes em que pacote está ocorrendo, apenas expandindo o nível ou selecionando e executando um duplo clique.

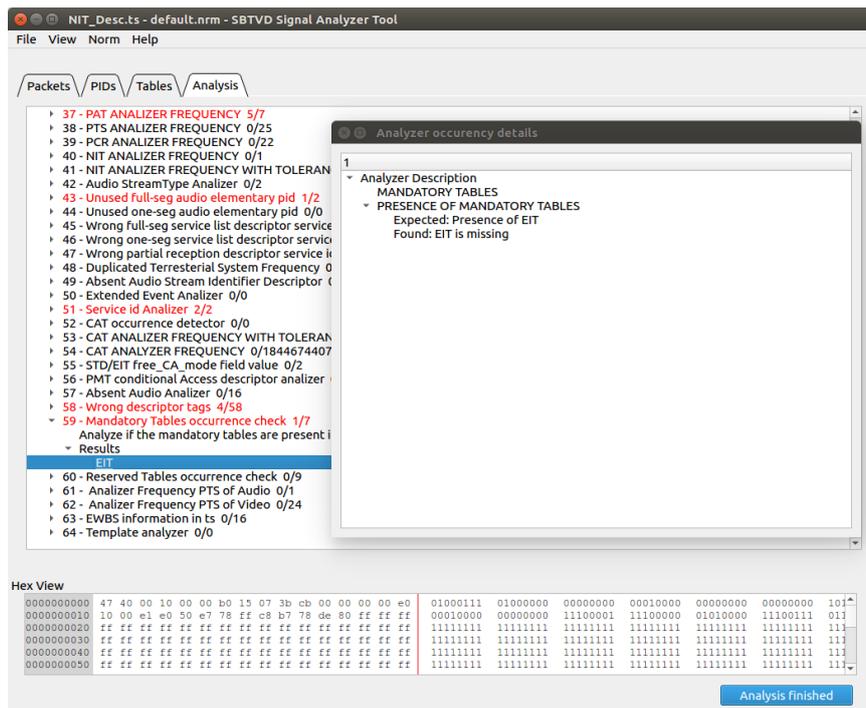


Figura 3.9 - Resultado da análise do TS.

Os resultados dos processos de análise continuam sendo mostrados até que um comando *ctrl+c* seja enviado via terminal ou simplesmente finalizando o modo da interface gráfica atual. Por fim, só é possível realizar uma análise por vez, por causa do processo de *parse* que é feito para cada arquivo separadamente.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema ISDB-Tb é considerado um sistema de TV digital consolidado em alguns países e a análise teórica, prática, de transmissão e recepção sobre o seu funcionamento tem sido um alvo constante no ramo de pesquisas, tanto no meio acadêmico como na área industrial.

Os resultados foram obtidos através da metodologia proposta e contemplam as três etapas apresentadas no capítulo anterior. O propósito é identificar falhas na recepção do sinal de TV digital e também demonstrar a parte técnica da metodologia em um ambiente real de captura que utiliza um dispositivo Dektec-238 mostrado na seção 3.2 do capítulo 3. Na etapa de análise do fluxo de bits serão usados decodificadores dos pacotes de TS baseados na norma ABNT NBR 15601 apresentados na seção 3.3 do capítulo anterior. Com relação à etapa de report de erros do TS apresentado na seção 3.4, do capítulo anterior, que são identificados pela aba de Analysis do sistema gráfico de decodificação.

4.1 - ANÁLISE DO TRANSPORT STREAM

Os resultados dos experimentos foram feitos utilizando o software *Bless*, que é um editor hexadecimal rápido e personalizável, escrito em GTK (FRANTZIZ, 2004). Ele é bastante eficiente com arquivos muito grandes e suporta várias ações de localização de números hexadecimais e binários.

A Figura 4.1 demonstra um arquivo TS em modo hexadecimal sendo analisado de forma manual sem o uso da metodologia.

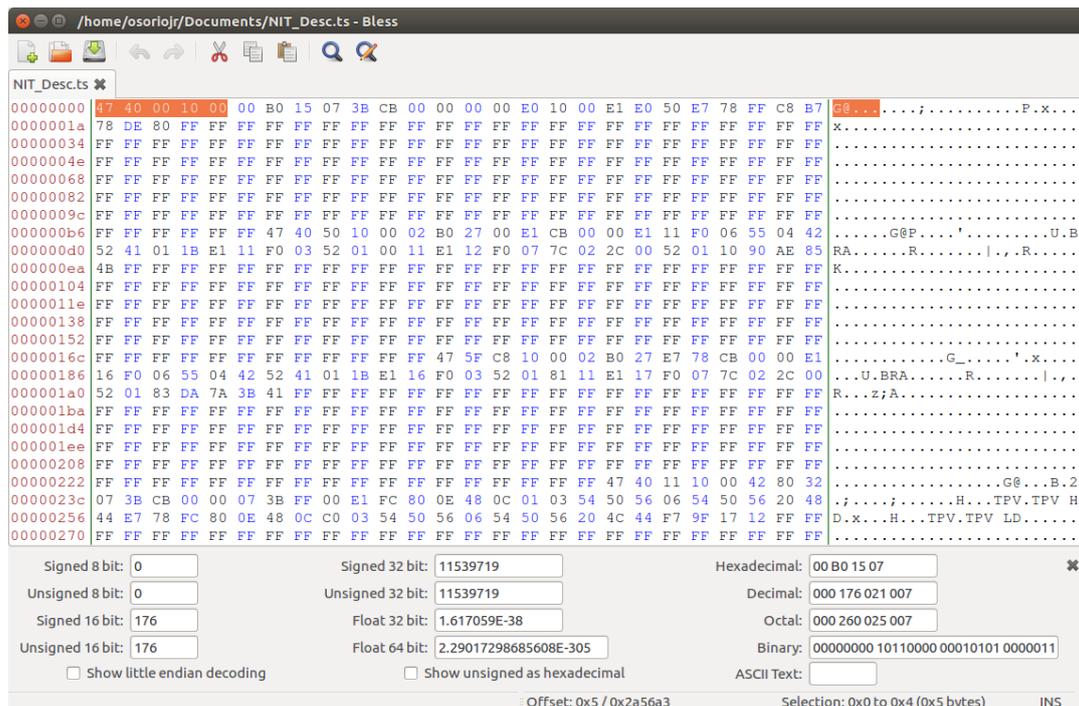


Figura 4.1 - Análise do TS com o Bless.

Na primeira parte em destaque, o primeiro valor hexadecimal 0x47 é o byte de sincronismo, responsável por manter a sincronia dos pacotes enviados. Em seguida o arquivo hexadecimal em destaque mostra o valor 0x40 que são dois bytes identificados como *Transport error indicator* e *Payload unit start indicator*. Em seguida, o valor 0x00 é identificado como PID, que de acordo com a tabela da ABNT esse valor 00 corresponde a tabela PAT. Esse cenário mostra que o arquivo possui as tabelas PAT, NIT, SDT e TOT respectivamente. Para que a transmissão ocorra normalmente sem falhas, é necessário a presença da tabela EIT, que neste caso não existe. Essa tabela descreve os eventos que vão ser mostrados em um serviço determinado e pode se dividir em duas subtabelas; a primeira chamada a Tabela EIT-present/following que deve conter informações do evento atual e o próximo para cada serviço, e a segunda tabela conhecida como Tabela EIT-schedule que é opcional e pode se adicionar informação sobre eventos futuros (ABNT_NBR-15603-1, 2007; ETSI_EN-300-468, 2014. Baseado nessas informações foi utilizado o mesmo arquivo TS teste para ser analisado sem a utilização da metodologia de análise proposta nesse trabalho.

A Figura 4.2 ilustra o esquema para decodificação de apenas um cabeçalho TS. Para rastrear o problema será necessário decodificar o cabeçalho de todos os pacotes deste mesmo arquivo TS levando em consideração todos os valores do *Header*, *adaptation field e payload*.

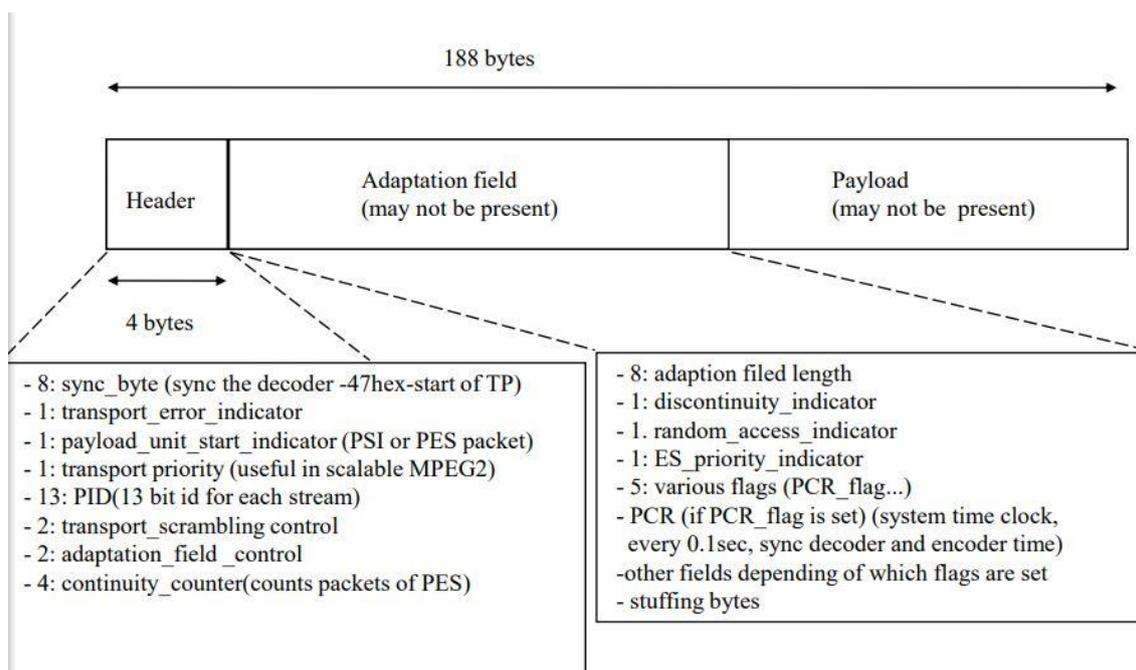


Figura 4.2 - Esquema hexadecimal de um cabeçalho TS.

O tempo de análise de apenas o primeiro cabeçalho do arquivo TS demorou aproximadamente 15 minutos, pois foi necessário pesquisar a estrutura das tabelas PSI e calcular os valores hexadecimais para binários. O arquivo de teste possui 0x39A7 (14759) pacotes de TS, ou seja, seria praticamente impossível realizar uma análise para saber se realmente não existe a presença da tabela EIT em todos os 14.759 pacotes, em resumo será necessário realizar o processo de decodificação do cabeçalho 14.759 vezes e isso seria humanamente impossível. Todos os 0x47 do arquivo teriam que ser decodificados em modo binário e baseados no esquema de decodificação do *Header* e de toda a estrutura SI/PSI que constam nas normas ABNT.

4.2 - ANÁLISE DO TS UTILIZANDO A METODOLOGIA

Utilizando a metodologia de análise proposta, vários cenários de erro, com diferentes arquivos TS capturados com o dispositivo DekTec DTU-238, foram testados. Todos os parâmetros e comandos foram testados e avaliados por meio de teste de API com o *GoogleTest*, ressaltando que, ao testar a interface GUI do analisador, foram apontadas melhorias e sugestões que contribuíram para um resultado compatível com o esperado.

O mesmo arquivo TS usando na seção anterior foi usado para justificar e comprovar a necessidade de implementação da metodologia. Tendo em vista que o

mesmo arquivo decodificado e analisado demorou aproximadamente três minutos como mostrado na Figura 4.3 e seus resultados foram mostrados sem nenhum esforço para calcular os valores contidos no arquivo. Inclusive como destacado no resultado, a falta da tabela *EIT* de forma instantânea.

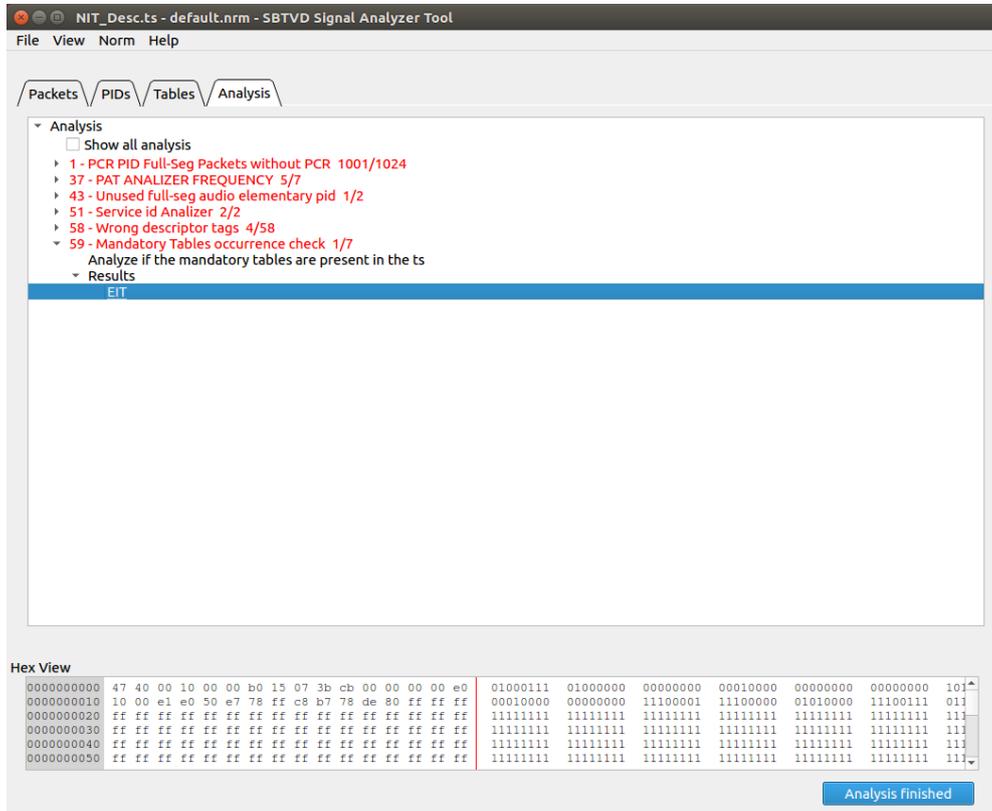


Figura 4.3 - Aplicação da metodologia de análise no arquivo TS.

Se a metodologia for utilizada para analisar o mesmo arquivo da seção 4.2 deste capítulo, o tempo reduzirá consideravelmente, além de eliminar o número de erros decorrente de falhas humanas ou de digitação de comandos para serem executados utilizando outras ferramentas de extração de valores hexadecimais e binários. A Tabela 4.1 ilustra um comparativo entre as 3 formas mais utilizadas de análise. Sendo a última delas praticada com o uso da metodologia. O propósito é medir o desempenho do sistema e também demonstrar a viabilidade técnica da metodologia, em um ambiente real de análise utilizando um TS capturado de uma transmissão ao vivo de TV digital terrestre.

Tabela 4.1 - Parâmetros de análise.

<u>Parâmetros de Análise</u>	<u>Valores para análise em hexadecimal</u>	<u>Valores para análise em binário</u>	<u>Valores para análise usando a metodologia</u>
Tipo do Teste	Arquivo TS (0x39A7) com pacotes	Arquivo TS com (0x39A7) pacotes	Arquivo TS com (0x39A7) pacotes
Tipo de codificação	H.264	H.264	H.264
Streams componentes	Vídeo/Áudio	Vídeo/Áudio	Vídeo/Áudio
Código do país	BRA	BRA	BRA
Tempo de Análise total	≈ 30 dias	≈ 30 dias	≈ 2 minutos

4.3 - AVALIAÇÃO DO SOFTWARE

4.3.1 - Processo de avaliação de Software

O processo de avaliação do software segue os critérios descritos na metodologia deste trabalho e contemplam todos os requisitos propostos pela ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

4.3.2 - Características dos avaliadores

No grupo dos profissionais da área de engenharia de software convidados a participar no processo de avaliação, três são especialistas e dois são mestres. Destes profissionais, todos possuem experiência de no mínimo um ano utilizando algum software de sistema embarcado para TV Digital. Quanto às profissões, três são engenheiros de software e dois são arquitetos de software, conforme visto na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Características dos profissionais de engenharia que avaliaram o Software.

<i>Expertises</i>	Profissionais de Engenharia			
Grau de Instrução	Área de Ciência	Instituição/Órgão	Sigla	UF
Mestre	Engenharia de Software	TPVision	TPV	AM
Mestre	Engenharia de Software	Instituto de Ciência e Tecnologia	SIDIA	AM
Especialista	Engenharia Elétrica	Instituto de Desenvolvimento Tecnológico	INDT	AM
Especialista	Engenharia Elétrica	Instituto de Desenvolvimento Tecnológico	INDT	AM
Especialista	Engenharia Elétrica	TPVision	TPV	AM

No grupo dos profissionais de tecnologia da informação, área técnica, 100% são funcionários de empresas do setor privado conforme pode ser visto na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Características dos profissionais de tecnologia que avaliaram o Software.

<i>Expertises</i>	Profissionais de Tecnologia			
Grau de Instrução	Área de Ciência	Instituição/Órgão	Sigla	UF
Mestre	Engenharia de Software	TPVision	TPV	AM
Mestre	Engenharia da Computação	Instituto de Ciência e Tecnologia	SIDIA	AM
Especialista	Ciência da Computação	Fundação Paulo Feitoza	FPF	AM
Especialista	Ciência da Computação	Instituto de Desenvolvimento Tecnológico	INDT	AM
Especialista	Sistemas de Informação	Instituto de Desenvolvimento Tecnológico	INDT	AM

Todos, embora tenham graduações distintas, trabalham na área de Software.

Tabela 4.4 - Grau de instrução dos profissionais que avaliaram o Software.

Características Avaliadas		N (%)	
<i>Expertises</i>	Profissionais de Engenharia	5 (50)	
	Profissionais de Tecnologia	5 (50)	
Grau de Instrução		Engenharia N (%)	Tecnologia N (%)
Graduação			
Especialização		3 (30)	3 (30)
Mestre		2 (20)	2 (20)
Doutorado			

4.3.3 - Atributos de funcionalidade

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008), funcionalidade é a capacidade do sistema de executar funções voltadas ao usuário. Os requisitos de funcionalidade estão relacionados diretamente ao que o produto deve oferecer a quem o utiliza e o analisador de TS faz isso, pois atua diretamente na decodificação do sistema binário de um TS. Quanto às funcionalidades, todas as respostas foram consideradas 90% adequadas, conforme pode ser visto na Tabela 4.5. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.5 - Atributo de funcionalidade e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Funcionalidade							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador atende ao processo de decodificação de um arquivo TS?	4 (80)	1 (20)		80%	5 (100)			80%
O analisador de TS dispõe das funções necessárias para a execução de um arquivo .ts?	4 (80)	1 (20)			4 (80)	1 (20)		
O analisador é preciso na execução de suas funções?	4 (80)	1 (20)			5 (100)			
O analisador é preciso nos resultados obtidos?	5 (100)				4 (80)	1 (20)		
O analisador facilita a execução do TS?	5 (100)				4 (80)	1 (20)		

Validando o percentual de aceitação, em estudos semelhantes, que utilizam como base a ISO25010 como requisito de qualidade, o resultado dessa categoria atingiu um percentual superior a 70% de respostas de acordo (RANGEL, 2010).

4.3.4 - Atributos de confiabilidade

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008), confiabilidade é um atributo relevante que demonstra a capacidade do sistema de manter estável e com performance aceitável na realização das atividades, mesmo sob intempéries, quando o fluxo de utilização estiver muito acima da média usual. Esse atributo foi avaliado por meio de perguntas relacionadas às características de maturidade, disponibilidade, tolerância a falhas e recuperabilidade. Ainda segundo a ABNT NBR ISO/IEC 14498-6 (2004), a confiabilidade é um fator imprescindível na hora de se avaliar um software, pois mensura a frequência com que as falhas ocorrem sob condições normais de operação, conforme pode ser visto na Tabela 4.6.

Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.6 - Atributo de confiabilidade e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Confiabilidade							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador não apresenta falhas com frequência?	5 (100)			80%	5 (100)			80%
Quando ocorre falhas, o analisador continua funcionando com normalidade?	4 (80)	1 (20)			5 (100)			
O analisador é capaz de recuperar dados afetados por falhas?	4 (80)	1 (20)			4 (80)	1 (20)		
O analisador fica acessível para uso quando exigido?	5 (100)				4 (80)	1 (20)		

Conforme observado na Tabela 4.6 acima, todos os atributos de confiabilidade foram avaliados com percentual de 80%, atingindo a meta proposta para este estudo que é acima de 70%.

4.3.5 - Atributos de usabilidade

Segundo a ISO/IEC 25010, o atributo de usabilidade é a capacidade do software em ser assimilado, utilizado e intuitivo.

Pode ser definido como a capacidade de oferecer ao utilizador a possibilidade de realizar tarefas com eficiência e eficácia. O método de avaliação pode ser realizado a partir das características que serviram para demonstrar o empenho do sistema em atender ao usuário (PEREIRA, 2012).

O atributo de usabilidade foi avaliado por meio das seguintes características: adequação, apreensibilidade, operabilidade, proteção contra falhas e interface com o utilizador, conforme pode ser visto na Tabela 4.7. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.7 - Atributo de usabilidade e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Usabilidade							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador é apropriado para atender as necessidades do usuário?	5 (100)			85%	5 (100)			80%
O analisador possui um campo de ajuda?	5 (100)				5 (100)			
O analisador é intuitivo?	4 (80)	1 (20)			5 (100)			
As funções do analisador são fáceis de serem executadas?	5 (100)				4 (80)	1 (20)		
Existe facilidade no aprendizado?	5 (100)				4 (80)	1 (20)		
O analisador facilita a entrada de dados pelo usuário?	5 (100)				5 (100)			
O analisador é fácil de ser operado e controlado?	5 (100)				5 (100)			
O analisador informa a entrada de dados e arquivos inválidos?	5 (100)				5 (100)			
O analisador possui um desing gráfico agradável?	3 (60)				4 (80)	1 (20)		

Conforme observado na Tabela 4.7 acima, todos os atributos de usabilidade foram avaliados com percentual acima de 80%, permanecendo-se, portanto, acima dos 70%, necessários para aprovação.

4.3.6 - Atributos de performance

Segundo a ABNT (2008), performance, rendimento ou eficiência é a capacidade do sistema de análise fornecer um desempenho adequado quando solicitado, mesmo sob intempéries. Esse atributo foi avaliado através das características de tempo, recurso e capacidade como mostra a Tabela 4.8 abaixo.

Segundo SPERANDIO (2011), quando se analisa a capacidade e a velocidade do *software* de executar corretamente as tarefas exigidas, estamos verificando a eficiência e performance desta aplicação. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.8 - Atributo de adequação e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Performance							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador permite uma boa navegação?	5 (100)			100%	5 (100)			100%
O analisador é eficiente?	5 (100)				5 (100)			
O tempo de resposta é adequado?	5 (100)				5 (100)			
O banco de dados tem um bom armazenamento?	5 (100)				5 (100)			

Conforme evidenciado na Tabela 4.8 acima, todos os atributos de performance foram avaliados com percentual acima de 90%, permanecendo-se, portanto, acima dos 70%, exigidos para aprovação.

4.3.7 - Atributos de compatibilidade

Segundo a ABNT (2008), compatibilidade é a capacidade de troca de informações entre softwares ou aplicações distintas, estando ou não num mesmo ambiente. A avaliação deste atributo chegou a 100% de aprovação, pois é o reflexo da utilização de tecnologias modernas. A linguagem de programação principal utilizada para desenvolvê-lo, o C++, funciona em vários sistemas operacionais assim como acontece com o sistema de banco de dados. Na Tabela 4.9 é mostrado como o resultado foi obtido. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.9 - Atributo de compatibilidade e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Performance							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador permite interações dos módulos: Abrir TS, analisar TS e detecção de erros?	5 (100)			100%	5 (100)			100%
O analisador é eficiente mesmo sendo executado em segundo plano?	5 (100)				5 (100)			
É possível fazer a troca de informações com outros sistemas?	5 (100)				5 (100)			

4.3.8 - Atributos de segurança

Segundo MILETTO e BERTAGNOLLI (2014), mensurar a precisão e eficiência da segurança de um sistema é uma tarefa árdua. Porém, podemos constatar se o software contém algum dispositivo semelhante a um alarme que pode disparar, avaliando e detectando falhas de segurança. Atestar que um sistema é totalmente seguro é incerto, pois a maioria dos sistemas, apresenta falha em algum processo.

Segundo a ISO/IEC 25010 (2008), o atributo de segurança está diretamente ligado à capacidade do software de proteger os dados e as informações nele contidas, proibindo o acesso de pessoas não autorizadas.

Em conformidade, o software desenvolvido neste estudo possui algoritmos criptografados na decodificação e no armazenamento de dados, de modo a evitar que aconteça qualquer inconsistência de análise e armazenamento no banco de dados. A categoria de segurança foi avaliada por meio das características de confidencialidade, integridade e não repúdio, conforme pode ser visto na Tabela 4.10. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 4.10 - Atributo de segurança e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Segurança							
	Equipe de Engenharia				Equipe de Tecnologia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
O analisador possui rotina de backup?	5 (100)			100%	5 (100)			100%
O analisador registra os eventos de análise com data e hora?	5 (100)				5 (100)			
É possível identificar o autor de uma decodificação?	5 (100)				5 (100)			

Segundo a avaliação dos profissionais, ficou evidente que o resultado foi acima do estabelecido para aprovação. Interessante que os dois grupos consideraram o software 100% seguro no item de proteção dos dados. No entanto, essa avaliação não garante que o *software* nunca falhará, pois é dependente de uma série de fatores que podem influenciar no desempenho e na execução.

4.3.9 - Atributos de manutenibilidade

Segundo a ABNT (2008), manutenibilidade é a capacidade do sistema de análise de TS ser modificado. Correções de falhas, adaptações, melhorias e novas demandas evolutivas fazem parte deste atributo.

Manutenibilidade, na Engenharia de *Software*, se refere à facilidade de uma aplicação ser modificada a fim de corrigir falhas, sofrer alterações evolutivas, adequar-se a novos procedimentos e requisitos, aumentar a suportabilidade ou se manter estável sob um novo sistema operacional. Esse conjunto de atividades são conhecidas como a manutenção de sistema, conforme é definido pela ISO/IEC 9126.

Portanto, por se tratar de um atributo técnico, apenas profissionais da área de tecnologia participarão da avaliação. O atributo manutenibilidade foi avaliado através das características analisabilidade, modificabilidade, testabilidade e modularidade, conforme pode ser visto na Tabela 4.11. Legenda: CV = Percentual de aprovação do atributo; A = de acordo; D = desacordo; NA = não se aplica.

Tabela 2.21 - Atributo de manutenibilidade e percentual de aprovação por categoria.

Atributos	Manutenibilidade			
	Equipe de Engenharia			
	A (%)	D (%)	NA (%)	CV
É fácil identificar a ocorrência de uma falha?	5 (100)			90%
É fácil de modificar e adaptar?	5 (100)			
É fácil testar quando se realiza uma alteração?	4 (80)	1 (20)		
Quando se realiza alteração em um módulo, o impacto nos outros é mínimo?	5 (100)			

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste trabalho demonstrou a possibilidade de transmissão do sinal de TV Digital de forma que as emissoras não tenham muito esforço para identificar as falhas que podem ocorrer durante as transmissões. O trabalho demonstrou que há possibilidades de implementações e melhorias na parte de recepção de sinais, isso prova conceitualmente esta metodologia proposta. Dessa forma, vale salientar que a metodologia pode ser utilizada por receptores de TV Digital de forma embarcada em cada receptor, gerando assim uma padronização muito relevante para todas as marcas de televisores no mercado atual.

Os resultados do projeto possuem perspectivas mercadológicas relevantes para os fabricantes de receptores de TV Digital. A ferramenta possibilitará maior agilidade nos diagnósticos de falhas na operação do sistema de TV Digital que impacta diretamente no funcionamento dos produtos. Quanto maior o tempo para identificar a causa das falhas, maior impacto na imagem dos produtos e maiores os custos nas assistências técnicas. Por ser uma ferramenta inédita no mercado, a mesma também poderá ser comercializada ou até mesmo serviços relacionados podem ser oferecidos com seu uso.

Este trabalho apresentou uma forma funcional de correção de erros em um sistema de televisão utilizando informações PSI/BTS, PCR e de transmissão, que foram utilizados como referência para o desenvolvimento desta metodologia. Além disso, os resultados aqui obtidos, podem ser coletados e utilizados como base para futuras pesquisas de:

- Reconfiguração de Transmissão.
- Automação do processo de leitura do TS.
- Inserção da ferramenta nos receptores de TV.
- Desenvolvimento de receptores com filtros de erros de sinais.

5.2 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho contribui com as emissoras e receptoras de televisão digital, onde alguns cenários serão criados de forma inédita para a identificação de casos de falha possíveis no âmbito da TV Digital brasileira. Por fim, essa mesma metodologia poderá ser utilizada durante a instalação de equipamentos, com o objetivo de verificar a conformidade de sistemas, o que é normalmente feito pelos fabricantes ou empresas especializadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações; Projeto Telecomunicações. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.

ANDGULO, J.; CALAZADA, J.; ESTRUCH, A. **Selection of standards for digital television: the battle for latin american computer science**, 301-310, 2012. ISSN 1877-0509.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC:14598-6: **Engenharia de software: avaliação de produto: parte 6: documentação de módulos de avaliação**. Rio de Janeiro, 2004.

ARIB STANDARD. Transmission system for digital terrestrial television broadcasting. **Association of Radio Industries and Businesses**, 2009.

ATSC. ATSC Digital Television Standard: Part 1 – Digital Television System. **Advanced Television Systems Committee, Inc.**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15602-1. **Televisão digital terrestre — Codificação de vídeo, áudio e multiplexação Parte 1: Codificação de vídeo**, ABNT NBR 15602-1, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15603-2: **Multiplexação e serviços de informação (SI). Parte 2: Estrutura de dados e definições da informação básica de SI**. ABNT NBR 15603-2, 2007.

AZEVEDO, R. G. A.; ARAÚJO, E. C.; LIMA, B.; SOARES, L. F. G. and MORENO, M. F. Composer: meeting non-functional aspects of hypermedia authoring environment. **Multimedia Tools and Applications**, vol. 70, no. 2, pp. 1199–1228, 2014.

DEKTEC. **Quality Tools for Digital – TV Professionals DTU-215 USB-2 VHF/UHF Modulator**. Disponível em: <https://www.dektec.com/products/USB/DTU-215/>. Acesso em: 08 de setembro de 2019.

DROUET, D.; BERNHAUPT, R. (2016). **User experience evaluation methods: Lessons learned from an interactive TV case-study**. Lecture Notes in Computer Science, 9856, 351-358.

ETSI, E. N – **Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for Data Broadcasting.** 2009.

FRANTZIS. **Bless Hexadecimal and binary editor.** (2004). Disponível em: <<https://github.com/afrantzis/bless>>. Acesso em: 08 de outubro de 2019.

G. BEDICKS *et al.* "Outlines of the Brazilian Digital Terrestrial Television Broadcasting System," in **57th anual IEEE Broadcasting Symposium**, Oct. 1st-Nov. 2nd, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), "**Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding**," ISO/IEC. Information Technology ISO/IEC 14496-10: 2005.

ISO/IEC 11172-3:1993, **Information technology — Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s — Part 3: Audio.**

ISO/IEC 13818-3:1998, **Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information — Part 3: Audio.**

J. HEISKALA AND J. TERRY, **OFDM Wireless Lans: A theoretical and Practical Guide:** Sams, 2002.

JACK, Keith (Org.). **Video Demystified.** 5. ed. Oxford, Usa: Elsevier, 2005.

LEONG, C. M. L.; PAN, S-L.; 2012. "A Tale of Digital Empowerment for Rural Development," MIS Quarterly (40:2), pp. 475-484.

LIN, C. T.; HORNG, S. J.; HUANG, Y. L. Hardware resource manager for reconfiguration system. *In: International Symposium on Biometrics and Security Technologies (ISBAST)*, IEEE, 2012.

MARQUES, G. A. G. **The SBTVD parser (SBTVD_parser).** Disponível em: <<http://sbtvdparser.sourceforge.net/>>. Acesso em: 18 de maio de 2016.

MAYRHAUSER, A. V. **Experimentation in Software Engineering: An Introduction (International Series in Software Engineering Book 6).** 1. Ed, springer: Academic Press, 2012. 228p.

MENDONÇA CAMPOS, IDELFONSO N. **The digital TV in brazil: scientific studies x application on the market**, v5, n.2, p 3-4, 2013.

MINASSIAN, A. A. “**A TV Digital – Convergência de Mídia**” 2005.

NATARAJAN, B. Study of transmission efficiency of IP packets over ATM using LLC/SNAP encapsulation. In: **The 9th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)**. IEEE, 2003. p. 892-895.

PFLEEGER S. **Software Engineering: Theory and Practice**. 4.ed. Prentice Hall, 2009. 756 p.

PRESSMAN, ROGER S. **Engenharia de software – Uma abordagem Profissional**. Porto Alegre: McGraw-Hill Brasil, 2016.

RANGEL, A. L. **Avaliação de Software para Elaboração Automática da Escala de Trabalho** 2010. 109f. Tese (Doutorado Fundamental) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

REDDY, BASIREDDY KARUNAKAR *et al* A novel and unified digital ic design and automation methodology with reduced NRE cost and time-to-market. In: **International Symposium on Electronic System Design (ISED)**, IEEE, Singapore, 2013. p. 30-39.

REIMERS, Ulrich (Ed.). **DVB: the family of international standards for digital video broadcasting**. Springer Science & Business Media, 2005.

RODRIGUES, A. L. e GOMES, R. M. **Modulação COFDM – uma proposta atrativa para os padrões de TV Digital**, Vol.3 Agosto 2004.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9.ed. Pearson University: Addison-Wesley, 2011. 529 p.

TELECO, **Inteligência em Telecomunicações**; Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

TELLES, F. **Cinco coisas que podem prejudicar o sinal da TV Digital**. **Techtudo, 2018**. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/listas/2018/06/cinco-coisas-que-podem-prejudicar-o-sinal-da-tv-digital.ghtml>>. Acesso em: 07 de junho de 2021.

UEHARA, M. Application of MPEG-2 Systems to Terrestrial ISDB (ISDB-T). **Proceedings of the IEEE**, vol. 94, no. 1, pp. 261-268, Jan. 2006.

VEGA, C. P. and ZAMANILLO, J. M. **Path-loss model for broadcasting applications and outdoor communication systems in the VHF and UHF bands**. *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 46, no. 2, pp. 91-96, Junho. 2002.

APÊNDICE A

DIAGRAMAS DE CASO DE USO DO SISTEMA

Nesta seção está em destaque todo o diagrama de caso de uso do sistema de análise de sinais digitais. Assim como toda a especificação desse mesmo sistema.

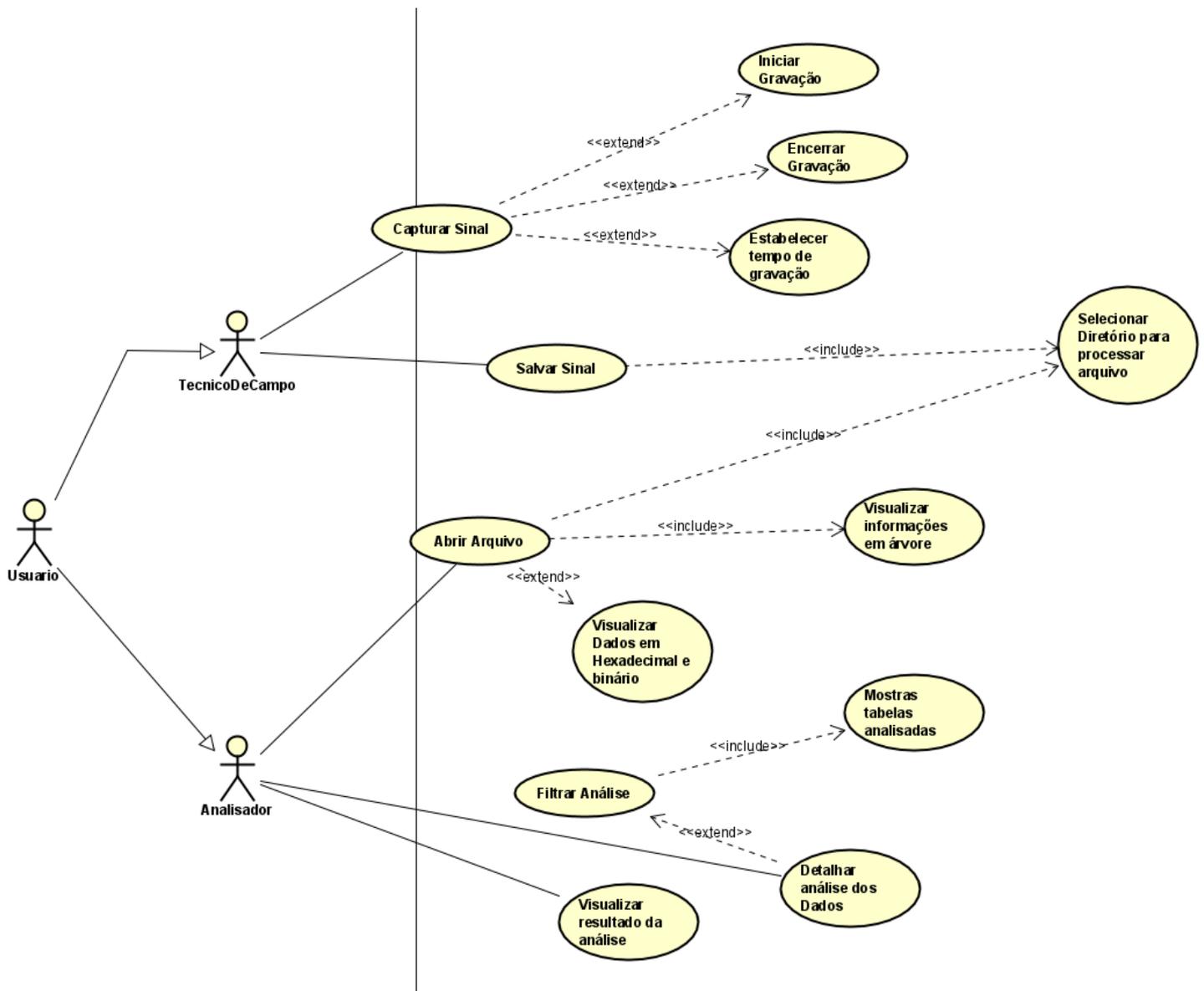


Tabela A.1 - Especificação dos casos de uso - Capturar sinal.

FUNCCIONALIDADE 1	Capturar sinal
ATOR	Técnico de campo
DESCRICOÃO	Esta funcionalidade permite que o técnico possa abrir a tela para capturar o sinal digital em campo.
PRÉ-CONDICAO	O técnico deve ter o ambiente e o software totalmente instalado em um notebook.
PÓS-CONDICAO	Ação concluída / A tela de captura é mostrada.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O técnico precisa estar com o notebook configurado; 2. Os dispositivos devem estar conectados (DekTec); 3. O ator clicará em File -> Capture; 4. O sistema abrirá a tela de captura;
VALIDAÇÃO	Tela de captura deve ser aberta

TELA:

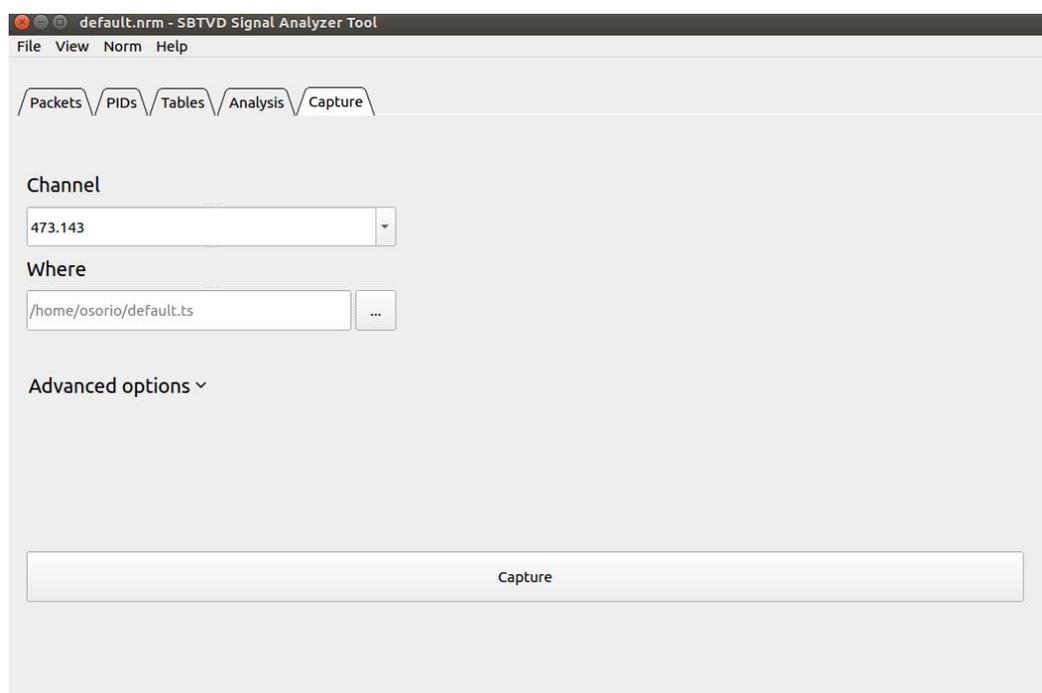


Tabela A.2 - Especificação dos casos de uso - Iniciar gravação.

FUNCIONALIDADE 2	Iniciar gravação
ATOR	Técnico de campo
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o técnico possa capturar o sinal digital em campo.
PRÉ-CONDIÇÃO	O técnico deve ter o ambiente e o software totalmente instalado em um notebook.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / O sinal é capturado
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O técnico precisa estar com o notebook configurado; 2. Os dispositivos devem estar conectados (DekTec); 3. O ator clicará em File -> Capture; 4. O sistema abrirá a tela de captura; 5. O ator deve selecionar a frequência de um canal digital 6. O ator deve clicar em “Capture”
VALIDAÇÃO	A gravação do TS deve ser iniciada.

TELA:

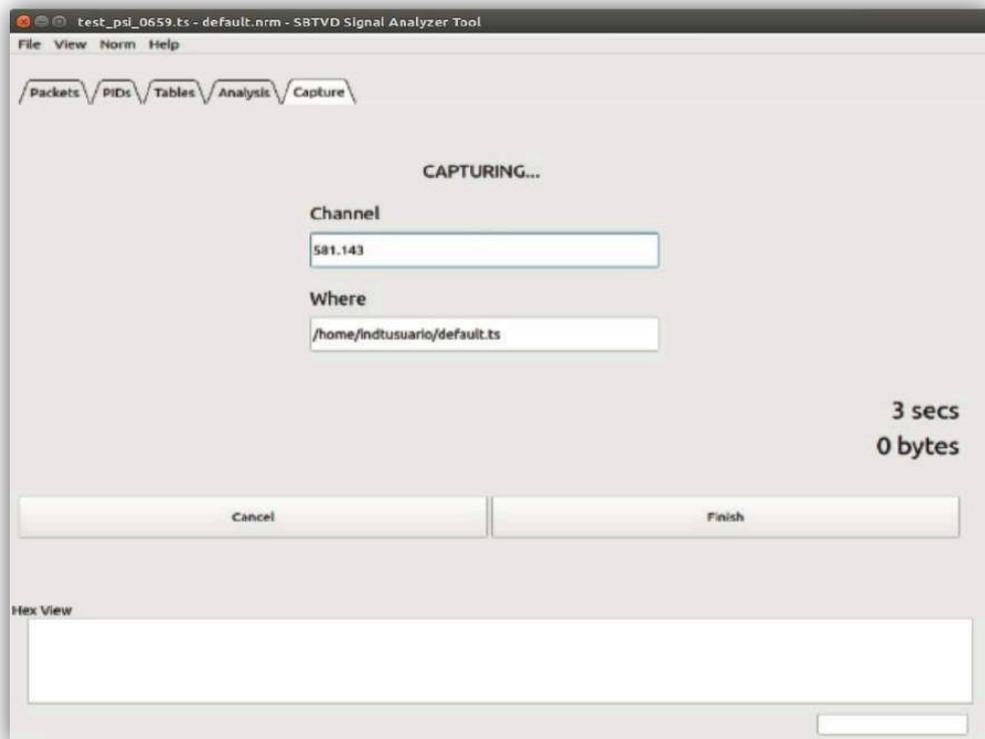


Tabela A.3 - Especificação dos casos de uso – Encerrar gravação.

FUNCIONALIDADE 3	Encerrar a gravação
ATOR	Técnico de campo
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o técnico possa encerrar a captura do sinal digital em campo.
PRÉ-CONDIÇÃO	O técnico deve ter uma gravação em execução
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / A captura do sinal é encerrada.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O técnico precisa estar com o notebook configurado; 2. Os dispositivos devem estar conectados (DekTec); 3. O ator clicará em File -> Capture; 4. O sistema abrirá a tela de captura; 5. O ator deve selecionar a frequência de um canal digital 6. O ator deve clicar em “Capture” 7. A captura deve ser iniciada 8. O ator deve clicar em “Finish”
VALIDAÇÃO	A gravação do TS deve ser encerrada.

TELA:

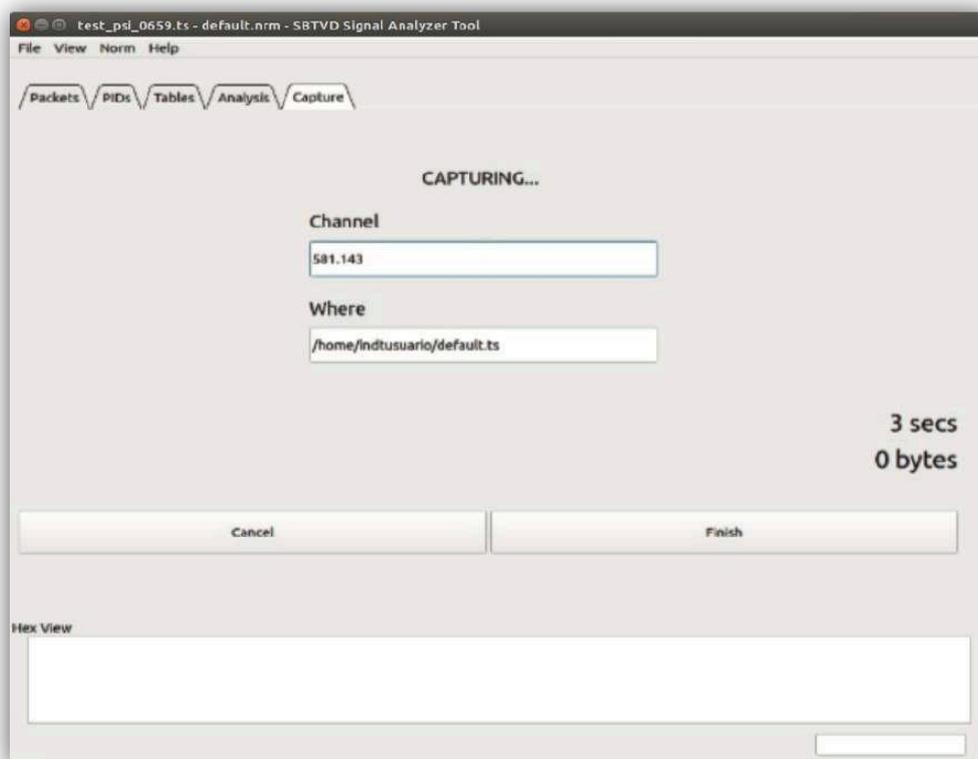


Tabela A.4 - Especificação dos casos de uso – Estabelecer tempo de gravação.

FUNCAIONALIDADE 4	Estabelecer tempo de gravação
ATOR	Técnico de campo
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o técnico possa a capturar um sinal com um limite de tempo definido em segundos.
PRÉ-CONDIÇÃO	O técnico deve ter uma gravação em execução
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / A captura do sinal é encerrada no tempo determinada no item “Timer”
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O técnico precisa estar com o notebook configurado; 2. Os dispositivos devem estar conectados (DekTec); 3. O ator clicará em File -> Capture; 4. O sistema abrirá a tela de captura; 5. O ator deve selecionar a frequência de um canal digital 6. O ator deve clicar em “Capture” 7. A captura deve ser iniciada 8. A captura é finalizada no tempo determinado no “Timer”
VALIDAÇÃO	A gravação do TS deve ser encerrada.

TELA:

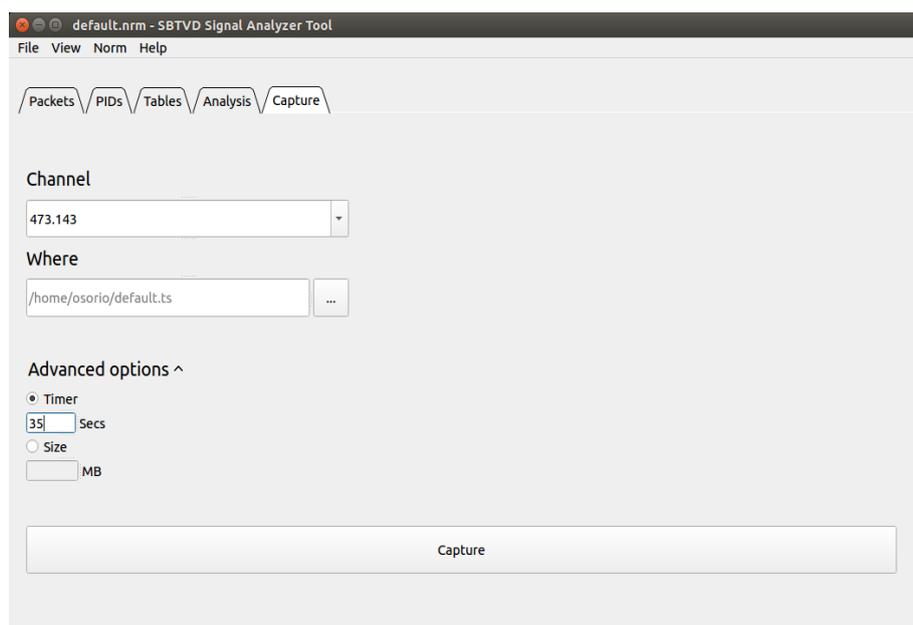


Tabela A.5 - Especificação dos casos de uso – Selecionar diretório para processar arquivo.

FUNCIONALIDADE 5	Selecionar diretório para processar arquivo
ATOR	Técnico de campo
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o técnico possa selecionar um arquivo para ser analisado.
PRÉ-CONDIÇÃO	O técnico deve ter arquivos ts gravados ou em algum dispositivo de armazenamento.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / Deve ser possível selecionar um arquivo ts para ser analisado.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O técnico precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada;
VALIDAÇÃO	A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada;

TELA:

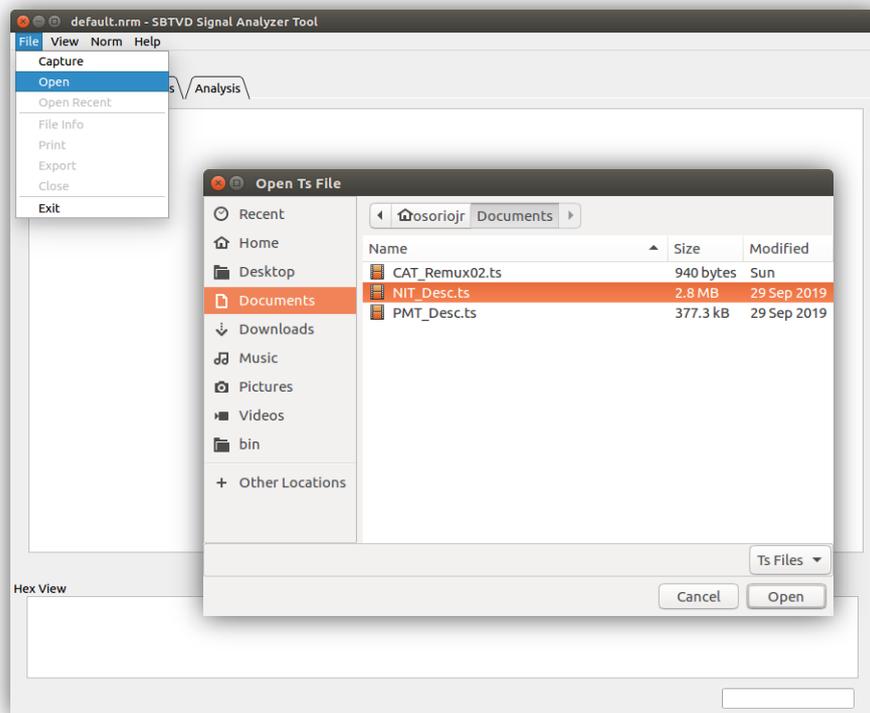


Tabela A.6 - Especificação dos casos de uso – Abrir arquivo.

FUNCCIONALIDADE 6	Abrir Arquivo
ATOR	Analizador
DESCRICÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa abrir um arquivo no sistema.
PRÉ-CONDICÃO	O analisador deve ter arquivos ts gravados ou em algum dispositivo de armazenamento.
PÓS-CONDICÃO	Ação concluída / Deve ser possível abrir um arquivo ts para ser analisado.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open
VALIDAÇÃO	O arquivo ts deve ser aberto no sistema.

TELA:

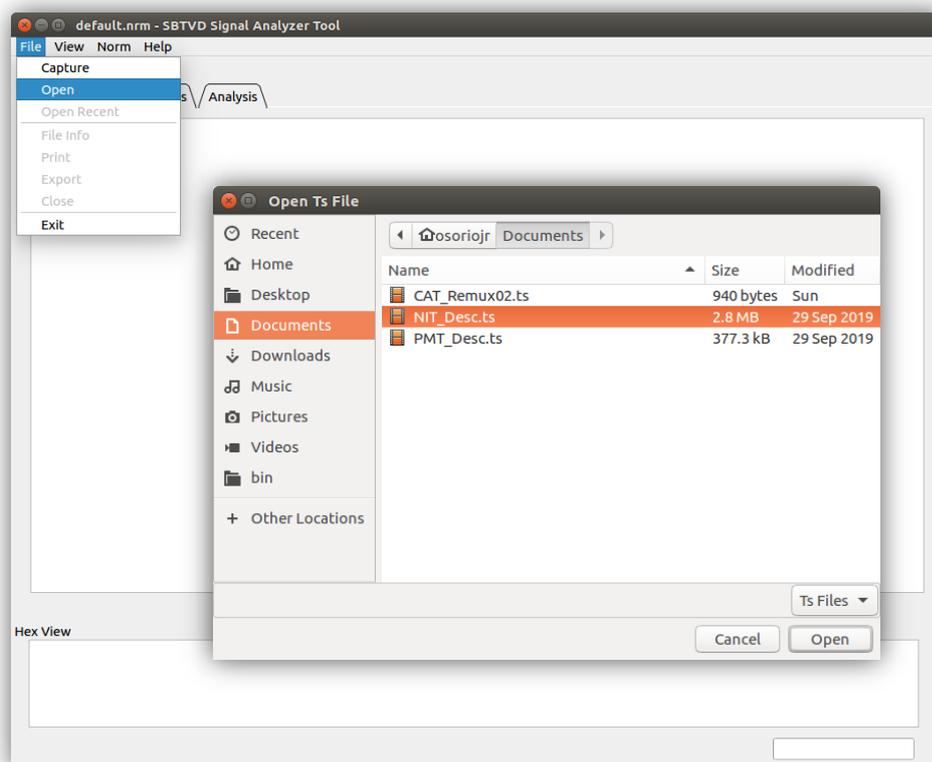


Tabela A.7 - Especificação dos casos de uso – Visualizar informações em árvore.

FUNCIÓNALIDADE 7	Visualizar informações em árvore
ATOR	Analizador
DESCRITION	Esta funcionalidade permite que o analisador possa visualizar a árvore de dados de um ts.
PRÉ-CONDITION	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDITION	Ação concluída / Deve ser possível visualizar a árvore de dados de um ts.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. Árvore de dados deve ser exibida.
VALIDATION	Árvore de dados deve ser exibida.

TELA:

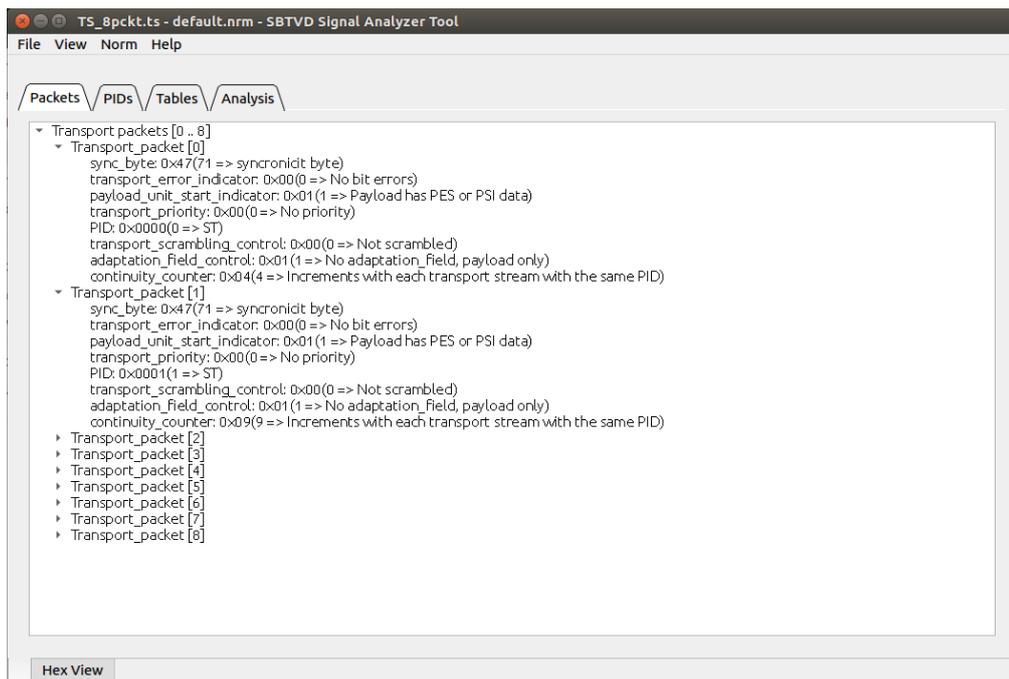


Tabela A.8 - Especificação dos casos de uso – Visualizar informações em hexadecimal e binário.

FUNCIONALIDADE 8	Visualizar informações em hexadecimal e binário
ATOR	Analizador
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa visualizar os dados do ts em hexadecimal e binário.
PRÉ-CONDIÇÃO	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / Deve ser possível visualizar os dados de um ts em hexadecimal e binário.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. Informações em hexadecimal e binário devem ser exibidas.
VALIDAÇÃO	Informações em hexadecimal e binário devem ser exibidas.
TELA:	

Tabela A.9 - Especificação dos casos de uso – Visualizar resultados de uma análise.

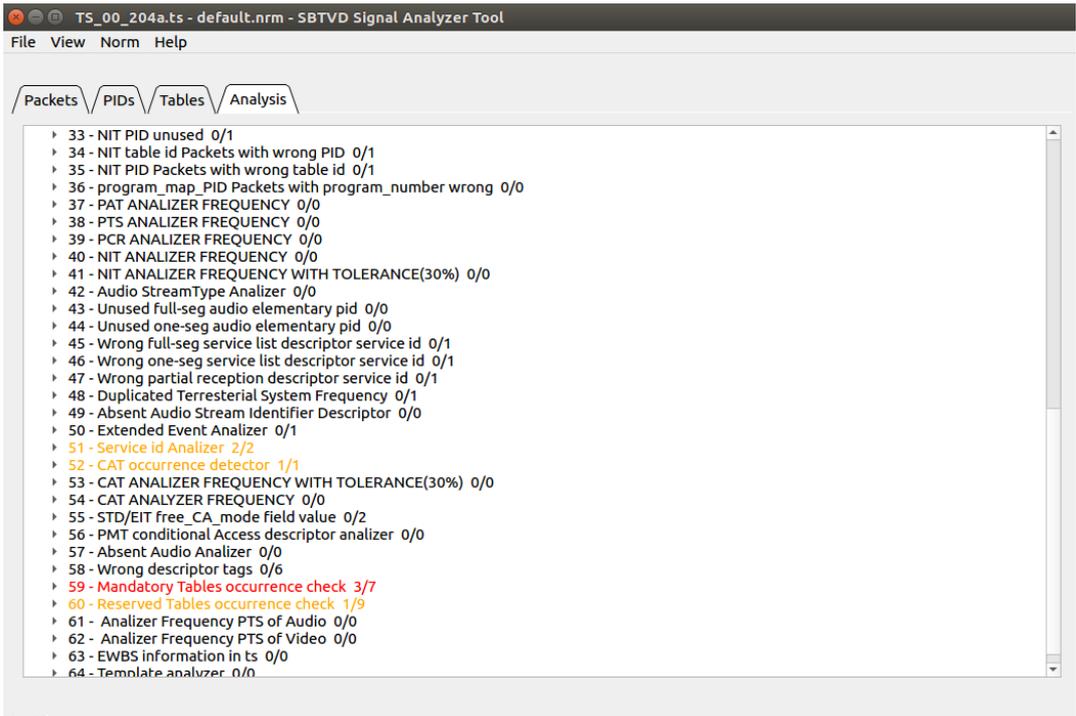
FUNCCIONALIDADE 9	Visualizar resultado de uma análise.
ATOR	Analizador
DESCRICÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa visualizar os resultados de uma análise.
PRÉ-CONDICÃO	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDICÃO	Ação concluída / Deve ser possível visualizar os resultados de uma análise de ts.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. O analisador deve selecionar a aba “Analysis”
VALIDAÇÃO	Os resultados de uma análise devem ser mostrados.
TELA:	
 <p>The screenshot displays the 'Analysis' tab of the SBTVD Signal Analyzer Tool. The window title is 'TS_00_204a.ts - default.nrm - SBTVD Signal Analyzer Tool'. The menu bar includes 'File', 'View', 'Norm', and 'Help'. Below the menu, there are four tabs: 'Packets', 'PIDs', 'Tables', and 'Analysis', with 'Analysis' being the active tab. The main area shows a list of analysis items, each with a checkmark icon and a status value. The items are:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 33 - NIT PID unused 0/1 ▶ 34 - NIT table id Packets with wrong PID 0/1 ▶ 35 - NIT PID Packets with wrong table id 0/1 ▶ 36 - program_map_PID Packets with program_number wrong 0/0 ▶ 37 - PAT ANALIZER FREQUENCY 0/0 ▶ 38 - PTS ANALIZER FREQUENCY 0/0 ▶ 39 - PCR ANALIZER FREQUENCY 0/0 ▶ 40 - NIT ANALIZER FREQUENCY 0/0 ▶ 41 - NIT ANALIZER FREQUENCY WITH TOLERANCE(30%) 0/0 ▶ 42 - Audio StreamType Analyzer 0/0 ▶ 43 - Unused full-seg audio elementary pid 0/0 ▶ 44 - Unused one-seg audio elementary pid 0/0 ▶ 45 - Wrong full-seg service list descriptor service id 0/1 ▶ 46 - Wrong one-seg service list descriptor service id 0/1 ▶ 47 - Wrong partial reception descriptor service id 0/1 ▶ 48 - Duplicated Terrestrial System Frequency 0/1 ▶ 49 - Absent Audio Stream Identifier Descriptor 0/0 ▶ 50 - Extended Event Analyzer 0/1 ▶ 51 - Service id Analyzer 2/2 ▶ 52 - CAT occurrence detector 1/1 ▶ 53 - CAT ANALIZER FREQUENCY WITH TOLERANCE(30%) 0/0 ▶ 54 - CAT ANALIZER FREQUENCY 0/0 ▶ 55 - STD/EIT free_CA_mode field value 0/2 ▶ 56 - PMT conditional Access descriptor analyzer 0/0 ▶ 57 - Absent Audio Analyzer 0/0 ▶ 58 - Wrong descriptor tags 0/6 ▶ 59 - Mandatory Tables occurrence check 3/7 ▶ 60 - Reserved Tables occurrence check 1/9 ▶ 61 - Analyzer Frequency PTS of Audio 0/0 ▶ 62 - Analyzer Frequency PTS of Video 0/0 ▶ 63 - EWBS information in ts 0/0 ▶ 64 - Template analyzer 0/0 	

Tabela A.10 - Especificação dos casos de uso – Detalhar análise de dados.

FUNCIONALIDADE 10	Detalhar resultado de uma análise.
ATOR	Analizador
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa visualizar com detalhes os resultados de uma análise.
PRÉ-CONDIÇÃO	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / Deve ser possível visualizar os resultados de uma análise de ts.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. O analisador deve selecionar a aba “Analysis” 8. O analisador deve clicar na seta ao lado da análise desejada.
VALIDAÇÃO	Os resultados de uma análise devem ser mostrados com mais detalhes.

TELA:

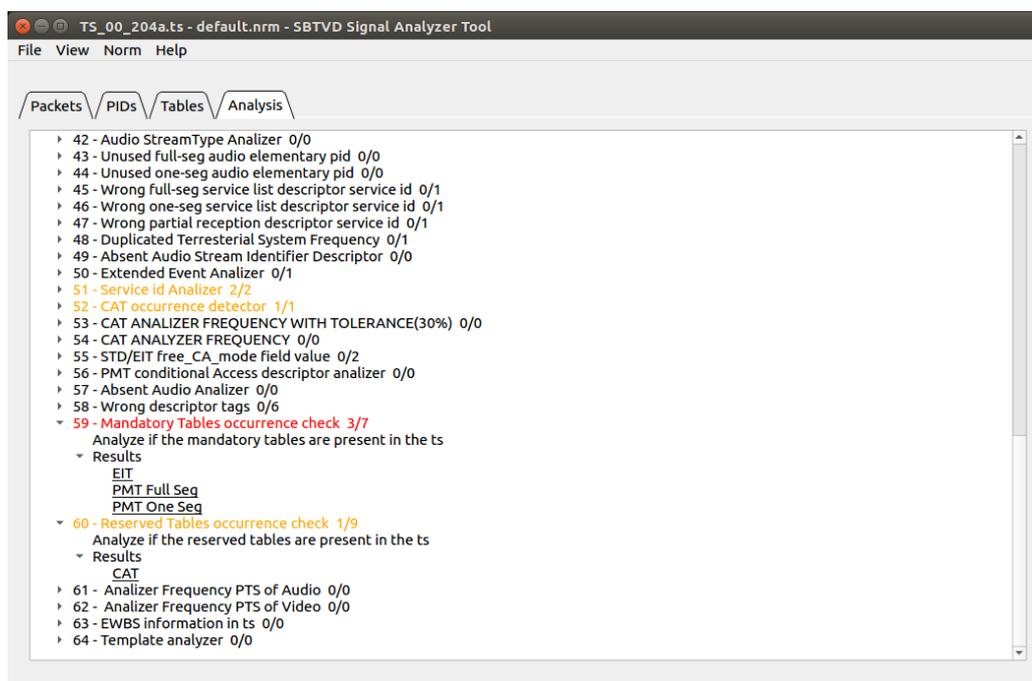


Tabela A.11 - Especificação dos casos de uso – Filtrar análises.

FUNCCIONALIDADE 11	Filtrar análises.
ATOR	Analisador
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa filtrar os resultados de uma análise.
PRÉ-CONDIÇÃO	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / Deve ser possível filtrar os resultados de uma análise de ts.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. O analisador deve selecionar a aba “Analysis” 8. O analisador deve selecionar a caixa “Show all analysis”
VALIDAÇÃO	Os resultados de uma análise devem ser filtrados mostrando apenas os erros.

TELA:

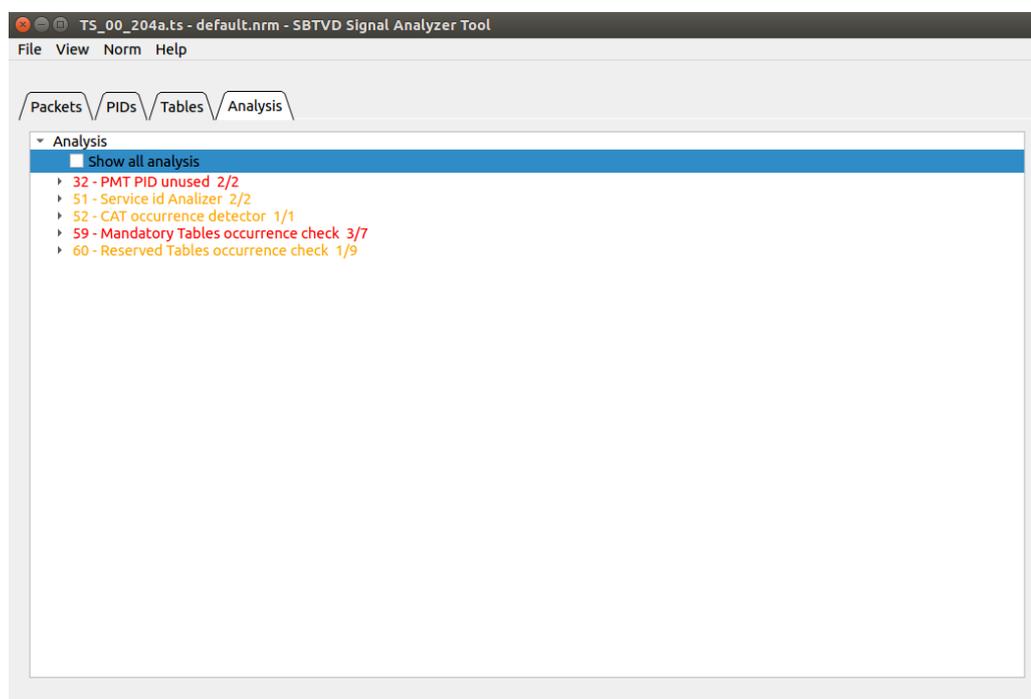


Tabela A.12 - Especificação dos casos de uso – Mostrar tabelas analisadas.

FUNCIONALIDADE 12	Mostrar tabelas analisadas
ATOR	Analisador
DESCRIÇÃO	Esta funcionalidade permite que o analisador possa visualizar as tabelas do ts analisado.
PRÉ-CONDIÇÃO	O analisador deve ter um arquivo ts aberto no sistema.
PÓS-CONDIÇÃO	Ação concluída / Deve ser possível visualizar as tabelas de uma análise de ts.
FLUXO PRINCIPAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. O analisador precisa estar com o notebook configurado; 2. O ator deve selecionar a opção “File” no menu; 3. O ator deve clicar em “Open”; 4. A tela de seleção de arquivos deve ser mostrada; 5. Um arquivo ts deve ser selecionado 6. O analisador deve clicar em “Open” 7. O analisador deve selecionar a aba “Tables” 8. O analisador deve visualizar as tabelas da análise feita.
VALIDAÇÃO	As tabelas de uma análise devem ser mostradas.

TELA:

