



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DARLAN LIMA SILVA**

**ANALISADOR DE ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS UTILIZANDO**  
**APARELHO DE TV BOX NÃO HOMOLOGADO E RÁDIO DEFINIDO POR**  
**SOFTWARE**

**PALMAS - TO**

**2023**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DARLAN LIMA SILVA**

**ANALISADOR DE ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS UTILIZANDO  
APARELHO DE TV BOX NÃO HOMOLOGADO E RÁDIO DEFINIDO POR  
SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Maxwell Moura Costa

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Augusto Tamashiro

**PALMAS - TO**

**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

- S586a Silva, Darlan Lima  
ANALISADOR DE ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS  
UTILIZANDO APARELHO DE TV BOX NÃO HOMOLOGADO E  
RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE / Darlan Lima Silva. – Palmas, TO,  
2023.  
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus  
Palmas, Palmas, TO, 2023.
- Orientador: Dr. Maxwell Moura Costa  
Coorientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro
1. Tv Box Não Homologada. 2. Analisador de Espectro de  
Radiofrequências. 3. Rádio Definido por Software. I. Costa, Maxwell Moura.  
II. Tamashiro, Márcio Augusto. III. Título.

**CDD 621**

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**DARLAN LIMA SILVA**

**ANALISADOR DE ESPECTRO DE RADIOFREQUÊNCIAS UTILIZANDO  
APARELHO DE TV BOX NÃO HOMOLOGADO E RÁDIO DEFINIDO POR  
SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito para a obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Tocantins, *CampuPalmas*.

Orientador: Doutor Maxwell Moura Costa  
Coorientador: Doutor Márcio Augusto Tamashiro

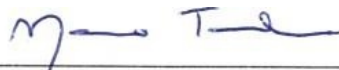
Aprovado em: 23 / 01 2024

**BANCA AVALIADORA**



Doutor Maxwell Moura Costa (Orientador)

IFTO — *CampuPalmas*



Doutor Márcio Augusto Tamashiro (Coorientador)

IFTO — *CampuPalmas*



Documento assinado digitalmente  
MATEUS LIMA PEDUZZI  
Data: 23/01/2024 21:46:29-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestre Mateus Lima Peduzzi

IFTO - *CampuPalmas*



Doutor Wendell Eduardo Moura Costa

IFTO — *CampuPalmas*

Dedico este trabalho à minha mãe Helena Maria, e ao meu pai Luiz Antônio (*In Memoriam*), por todo amor e esforço em proporcionar-me a melhor educação.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida e pela oportunidade de chegar até aqui.

Agradeço à minha família por toda a ajuda e apoio que, de alguma forma, contribuiu para o meu sucesso nessa jornada.

Ao meu Orientador Professor Dr. Maxwell Moura Costa, e Coorientador Professor Dr. Márcio Augusto Tamashiro, por toda a ajuda, dedicação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Bruno Carvalho de Sousa pelo gesto de outrora, que fez grande diferença em minha vida e me trouxe até aqui.

Ao amigo Francisco Roberto pela preciosa amizade, que teve origem nos tempos de Escola Técnica Federal do Ceará, e se estendeu para a vida.

Aos amigos Thiago Vilela e Thiana Tiller pela relação de amizade construída ao longo do Curso de Engenharia Elétrica no IFTO.

Agradeço aos colegas de trabalho da Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, em especial Hebert Moreira pela ideia e incentivo em utilizar Tv Box neste trabalho. Ao Kleibe Jacinto, Arthur Pisaruk e Ailfran Moraes pelo incentivo e conhecimentos compartilhados. Obrigado por toda a ajuda.

Aos colegas Giuliano Quinan, Alexsandro Gouveia, Antônio Carlos, Rejane Cavalheiro, Thiago Antônio, Juliano Romão, e todos os demais colegas de ANATEL que, de alguma forma, me ajudaram nessa longa caminhada.

Agradeço à Dra. Geruza Aline Erig, amiga e companheira, por toda a ajuda, incentivo e paciência em meus momentos de tensão. Muito obrigado.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso. Muito obrigado.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo implementar um analisador de espectro de radiofrequências utilizando aparelho de Tv Box não homologado e Rádio Definido por Software, com foco na faixa de FM Comercial. Para a consecução do objetivo, foram testados 2 modelos de Tv Box, sendo uma com processador S905x3 da Amlogic, e a outra com processador RK3229 da Rockchip. Em conjunto com os 2 aparelhos, foi utilizado o *dongle* RTL-SDR, modelo V3. Foram realizados monitoramento do espectro nas proximidades do Aeroporto Internacional de Palmas/TO, utilizando antenas telescópicas genéricas, e as medidas foram comparadas e validadas com o analisador de espectro profissional Tektronix, modelo SA2500. Para apresentação dos resultados das medições com o RTL-SDR, foi utilizado o kit de ferramentas de desenvolvimento de software gratuito e de código aberto *GNU Radio Companion*.

**Palavras-chave:** Tv Box; analisador; FM; GNU; RTL-SDR.

## **ABSTRACT**

The present study aimed to implement a radio frequency spectrum analyzer using a non-certified Tv Box and Software-Defined Radio, focusing on the Commercial FM band. To achieve this goal, two models of Tv Boxes were tested, one featuring the Amlogic S905x3 processor, and the other with the Rockchip RK3229 processor. In conjunction with these devices, the RTL-SDR dongle, V3 model, was employed. Spectrum monitoring was conducted in the vicinity of the Palmas International Airport, TO, using generic telescopic antennas. The measurements were compared and validated with the Tektronix professional spectrum analyzer, SA2500 model. The presentation of RTL-SDR measurement results utilized the GNU Radio Companion, a free and open-source software development toolkit.

**Keywords:** Tv Box; analyser; FM; GNU; RTL-SDR.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Espectro eletromagnético.....                                        | 17 |
| Figura 2 - Analisador de espectro, modelo MS2720T, Anritsu.....                 | 19 |
| Figura 3 - Domínio do tempo versus domínio da frequência. ....                  | 22 |
| Figura 4 - Tv Box Apple. Equipamento homologado. ....                           | 26 |
| Figura 5 - Tv Box não homologada, modelo H7. ....                               | 26 |
| Figura 6 - Equipamento RTL-SDR, modelo V3.....                                  | 27 |
| Figura 7 - Fluxograma para FFT de um sinal cosseno de 1 kHz de frequência. .... | 29 |
| Figura 8 - Sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência. ....           | 30 |
| Figura 9 - Analisador de espectro Tektronix SA2500. ....                        | 32 |
| Figura 10 - Componentes utilizados no experimento. ....                         | 33 |
| Figura 11 - Tela do Balena Etcher.....                                          | 33 |
| Figura 12 - Tela inicial do Multitool. ....                                     | 34 |
| Figura 13 - Tela inicial do USB Burning Tool. ....                              | 35 |
| Figura 14 - Tela inicial do software GQRX. ....                                 | 35 |
| Figura 15 - Fluxograma utilizado na monitoração em campo. ....                  | 38 |
| Figura 16 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 89, 9 MHz. ....        | 41 |
| Figura 17 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 89,9 MHz.....             | 42 |
| Figura 18 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 91,1 MHz. ....         | 43 |
| Figura 19 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 91,1 MHz.....             | 44 |
| Figura 20 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 104,7 MHz. ....        | 45 |
| Figura 21 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 104,7 MHz.....            | 46 |
| Figura 22 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 89, 9 MHz. .... | 47 |
| Figura 23 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 89,9 MHz.....             | 48 |
| Figura 24 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 91,1 MHz. ....  | 49 |
| Figura 25 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 91,1 MHz.....             | 50 |
| Figura 26 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 104,7 MHz. .... | 51 |
| Figura 27 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 104,7 MHz.....            | 52 |
| Figura 28 - Tela de menu da ferramenta Multitool. ....                          | 61 |
| Figura 29 - Área de trabalho do Armbian.....                                    | 61 |
| Figura 30 - Conteúdo da pasta “Amlogic”. ....                                   | 63 |
| Figura 31 - Linha de código alterada dentro do arquivo “extlinux.conf”.....     | 64 |
| Figura 32 - Tela do Armbian pronto para receber comandos.....                   | 64 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Blocos utilizados no Receptor_FM. .... | 36 |
|---------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                                                                                   |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações.                                                                             |
| SDR    | <i>Software Defined Radio</i> - Rádio Definido por Software.                                                      |
| FM     | Frequência Modulada.                                                                                              |
| NASA   | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> - Agência Espacial Americana.                                |
| ITU    | <i>International Telecommunication Union</i> - União Internacional de Telecomunicações.                           |
| ONU    | Organização das Nações Unidas.                                                                                    |
| TF     | Transformada de Fourier.                                                                                          |
| TDF    | Transformada Discreta de Fourier.                                                                                 |
| TDFI   | Transformada Discreta de Fourier Inversa.                                                                         |
| FFT    | Transformada Rápida de Fourier.                                                                                   |
| PACP   | Plano de Ação de Combate À Pirataria.                                                                             |
| GT     | Grupo de Trabalho.                                                                                                |
| DVB-T  | <i>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</i>                                                                   |
| ADC    | Conversor Analógico-Digital.                                                                                      |
| ADS-B  | <i>Automatic Dependent Surveillance Broadcast</i> – Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão.            |
| ACARS  | <i>Aircraft Communication Addressing and Reporting System</i> – Sistema de Comunicações e Relatório de Aeronaves. |
| AIS    | <i>Aeronautical Information Service</i> – Serviço de Informação Aeronáutica.                                      |
| RDS    | <i>Radio Data System</i> .                                                                                        |
| VHF    | <i>Very High Frequency</i> – Frequência Muito Alta.                                                               |
| APRS   | <i>Automatic Position Reporting System</i> – Sistema Automático de Relatório de Posição.                          |
| GPS    | <i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global.                                              |
| HDMI   | <i>High-Definition Multimedia Interface</i> – Interface Multimídia de Alta Definição.                             |
| GRC    | <i>GNU Radio Companion</i> .                                                                                      |

## SUMÁRIO

|            |                                                                         |           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                 | <b>13</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Considerações Gerais.....</b>                                        | <b>13</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Justificativa .....</b>                                              | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                  | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Objetivo Geral .....</b>                                             | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Objetivos Específicos.....</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>3</b>   | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                       | <b>17</b> |
| <b>3.1</b> | <b>O espectro radioelétrico.....</b>                                    | <b>17</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Sinais.....</b>                                                      | <b>18</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Analisador de espectro.....</b>                                      | <b>19</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Transformada de Fourier (TF) .....</b>                               | <b>20</b> |
|            | 3.4.1 Transformada Discreta de Fourier (TDF).....                       | 22        |
|            | 3.4.2 Transformada Rápida de Fourier (FFT) .....                        | 23        |
| <b>4</b>   | <b>O ÓRGÃO REGULADOR E A TV BOX .....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Anatel.....</b>                                                      | <b>24</b> |
|            | 4.1.1 Certificação e Homologação de produtos.....                       | 24        |
| <b>4.2</b> | <b>Tv Box.....</b>                                                      | <b>25</b> |
| <b>5</b>   | <b>RECURSOS EM DESTAQUE .....</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>5.1</b> | <b>RTL-SDR .....</b>                                                    | <b>27</b> |
| <b>5.2</b> | <b>GNU Radio Companion.....</b>                                         | <b>29</b> |
| <b>6</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO .....</b>                             | <b>31</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Itens necessários .....</b>                                          | <b>31</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Procedimentos realizados .....</b>                                   | <b>36</b> |
|            | 6.2.1 Definição do fluxograma no GNU Radio.....                         | 36        |
|            | 6.2.2 Definição das emissoras de radiodifusão a serem monitoradas ..... | 39        |
| <b>7</b>   | <b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>                         | <b>41</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Dados do RTL-SDR com a Tv Box H7 e Tektronix SA2500.....</b>         | <b>41</b> |

|            |                                                                  |           |
|------------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7.2</b> | <b>Dados do RTL-SDR com a Tv Box In X Plus e Tektronix .....</b> | <b>47</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Análise .....</b>                                             | <b>52</b> |
| <b>7.4</b> | <b>Dificuldades experimentadas .....</b>                         | <b>53</b> |
| <b>8</b>   | <b>CONCLUSÕES FINAIS .....</b>                                   | <b>54</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                          | <b>56</b> |
|            | <b>APÊNDICE A .....</b>                                          | <b>60</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Gerais

A vida moderna está em constante evolução, impulsionada pelo rápido avanço tecnológico. Nesse cenário extremamente dinâmico, a necessidade de comunicação sem fio tem se tornado cada vez mais imprescindível. Desde emissoras de rádio e televisão, passando pela mobilidade de um smartphone e por dispositivos inteligentes, até redes de dados em larga escala, a comunicação sem fio se tornou uma parte indispensável do nosso cotidiano.

Contudo, a crescente demanda por esse meio de comunicação traz consigo um desafio significativo: a utilização responsável e eficiente do espectro radioelétrico. Esse espectro constitui uma faixa limitada de frequências que viabiliza a transmissão e recepção de sinais sem fio. À medida que mais dispositivos e serviços fazem uso desse meio de comunicação, a gestão apropriada do espectro torna-se essencial.

Dentre as várias faixas do espectro, aquela utilizada pelo serviço de radiodifusão sonora em frequência modulada - FM (76 MHz a 108 MHz), mais conhecida como FM comercial, destaca-se como uma das faixas que requerem maior atenção (segundo a Resolução nº 721, de 11 de fevereiro de 2020, em vigência, essa faixa é dividida em 160 canais, cujas frequências centrais de cada canal estão separadas de 200 kHz). Isso é particularmente crucial, uma vez que essa faixa está situada próxima à principal faixa das comunicações móveis aeronáuticas. A proximidade desses serviços ressalta a importância crítica de monitorar continuamente a faixa de FM comercial.

Essa atenção contínua se justifica, principalmente, pela potencial interferência que emissoras de rádio na faixa de FM comercial podem causar às comunicações na aviação. Tal interferência pode resultar em prejuízos significativos à segurança e eficiência das comunicações aeronáuticas. Portanto, é fundamental considerar os possíveis impactos causados por uma utilização inadequada das frequências atribuídas pelo Órgão Regulador às emissoras de rádio.

A fim de auxiliar no desafio de salvaguardar as comunicações móveis aeronáuticas, prevenindo e mitigando possíveis interferências, o presente trabalho propõe a implementação de um analisador de espectro de radiofrequências focado na faixa de FM comercial, utilizando rádio definido por software - SDR, o kit de desenvolvimento de software de código aberto GNU Radio Companion, em conjunto com aparelho de Tv Box não homologado, cuja destinação natural seria a destruição.

## 1.2 Justificativa

Este estudo é fundamentado em três ideias interconectadas e de igual importância: a destinação ética de equipamentos não homologados, o monitoramento da faixa de FM comercial e a necessidade de soluções de baixo custo.

A reutilização de Tv Boxes não homologadas, originalmente encaminhadas para destruição, representa uma abordagem inovadora e sustentável. Ao converter esses equipamentos em analisadores de espectro, não apenas evita-se o descarte inadequado, como também é possível explorar uma alternativa economicamente vantajosa na obtenção de ferramentas de monitoramento do espectro. Além disso, a reutilização de dispositivos eletrônicos em meio à crise de semicondutores, iniciada na pandemia de Covid-19 e que persiste até hoje, promove a redução de resíduos eletrônicos e demonstra um comprometimento com a busca de soluções alternativas em tempos de crise.

A escolha pelo monitoramento da faixa de FM comercial, que vai de 76 MHz a 108 MHz, tem relação com os problemas potenciais que essas emissoras podem causar nas comunicações aeronáuticas, que operam de 108 MHz a 137 MHz. Percebe-se que o final de um serviço coincide com o início do outro, e muitos dos problemas de interferência detectados nas comunicações aeronáuticas são provocados por transmissores defeituosos das emissoras comerciais, que geram espúrios e produtos de intermodulação com transmissores de outras emissoras. Isso causa grandes problemas de comunicação, por exemplo, entre piloto e controladores de tráfego aéreo. Assim, é de extrema importância o monitoramento permanente da faixa de FM comercial, a fim de garantir que as emissoras estejam operando, dentre outros parâmetros, com potência e frequência autorizadas pelo Órgão Regulador.

Os analisadores de espectro de radiofrequências profissionais disponíveis atualmente no mercado possuem um alto custo de aquisição, geralmente fora do alcance de pequenas empresas e profissionais autônomos. Esses dispositivos são projetados para atender às demandas específicas de laboratórios de pesquisa, indústrias especializadas e Órgãos Reguladores, ou seja, são projetados para atividades de alto desempenho, o que justifica seu alto valor, sendo este diretamente proporcional às faixas de frequências que se pretende analisar. Assim, esse alto custo restringe a acessibilidade e a democratização do conhecimento relacionado ao estudo do espectro de radiofrequências. A relevância desta pesquisa acadêmica justifica-se ao apresentar um dispositivo com potencial de mitigar a barreira financeira e permitir que um maior número de organizações, instituições acadêmicas, pessoas e entusiastas das tecnologias

sem fio, possam ter acesso a um dispositivo capaz de auxiliar nas análises e monitoramentos espectrais satisfatórios, em diferentes contextos, ou pelo menos fomentar pesquisas inovadoras e o aprimoramento contínuo de dispositivos existentes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Implementar um analisador de espectro de radiofrequências de baixo custo para o monitoramento da faixa de rádio FM comercial.

### **2.2 Objetivos Específicos**

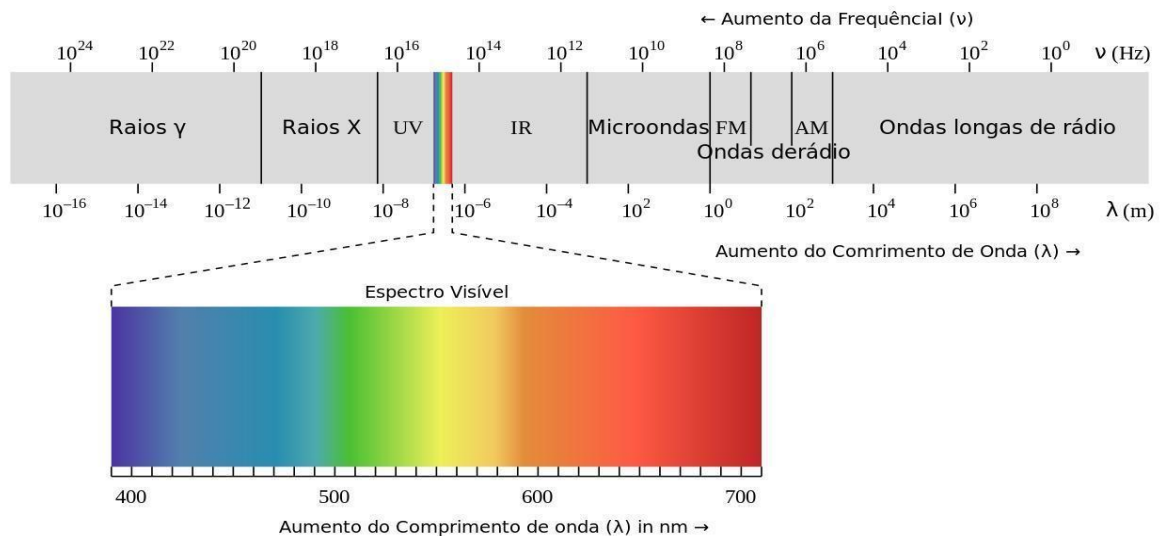
- Implementar um analisador de espectro para a faixa de rádio FM comercial capaz de apresentar quatro informações: frequência do canal, nível do sinal, largura de banda e um gráfico de exibição do espectro em cascata (Waterfall).
- Apresentar os resultados das medições utilizando o kit de ferramentas de desenvolvimento de software gratuito e de código aberto GNU Radio Companion.
- Utilizar um Analisador de Espectro profissional para comparação e validação dos resultados obtidos com o protótipo.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O espectro radioelétrico

O espectro eletromagnético é uma gama completa de todas as frequências possíveis de radiação eletromagnética, desde ondas de rádio de baixa frequência até raios cósmicos de alta frequência. É um espectro contínuo que inclui todas as formas de radiação eletromagnética, independentemente do seu uso específico (FRENZEL, 2015). Na Figura 1 apresenta-se o espectro eletromagnético.

Figura 1 - Espectro eletromagnético.



**Fonte:** Brainly, 2023.

Já o espectro radioelétrico é uma parte específica do espectro eletromagnético que se refere às frequências utilizadas para comunicações sem fio, como transmissões de rádio, televisão, telefonia celular e Wi-Fi. Ele abrange uma faixa limitada do espectro eletromagnético, considerada de 3 Hz até 300 GHz (Brainly, 2023).

O Espectro de Radiofrequências é “bem público, de fruição limitada, administrado pela Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, correspondente ao espectro eletromagnético abaixo de 3000 GHz, cujas ondas eletromagnéticas se propagam no espaço sem guia artificial e que é, do ponto de vista do conhecimento tecnológico atual, passível de uso por sistemas de radiocomunicação” (ANATEL, 2023).

Fundada em 1865 com o objetivo de facilitar a conectividade internacional em redes de comunicação, A União Internacional de Telecomunicações (ITU), Agência da Organização das Nações Unidas (ONU), especializada em tecnologias da informação e comunicação, é a responsável pela alocação do espectro global de rádio e órbitas de satélites (ITU, 2023). Em reuniões periódicas, com a presença de governos, reguladores e representantes da indústria, a ITU aprova recomendações sobre o uso do espectro radioelétrico que costumam ser integralmente adotados pelos órgãos reguladores de cada país, que definem o licenciamento das faixas de frequência, estabelecendo regras para uso local (LIMA, 2013).

### **3.2 Sinais**

Segundo Lathi (2007), um sinal é um conjunto de dados ou informação como, por exemplo, um sinal de telefone ou televisão. Podem ser classificados, dentre outras formas, como analógicos e digitais. Um sinal é classificado como analógico quando sua amplitude assume qualquer valor contínuo, e digital quando sua amplitude pode assumir um número finito de valores.

Ao estudar sinais em telecomunicações, duas abordagens fundamentais são frequentemente empregadas para compreender suas características: a análise no domínio do tempo e a análise no domínio da frequência. A análise no domínio do tempo concentra-se na variação de um sinal ao longo de uma escala temporal. A representação gráfica ou por meio de formas de onda permite examinar como a amplitude do sinal se altera em momentos distintos, representando as mudanças de tensão, corrente ou potência em relação ao tempo.

Por outro lado, a análise no domínio da frequência se concentra nas diferentes componentes de frequência presentes em um sinal. Empregando técnicas como a Transformada de Fourier, essa abordagem decompõe o sinal em suas frequências constituintes, proporcionando uma visão mais aprofundada das características espectrais. Por exemplo, ao analisar um sinal de rádio, a análise no domínio da frequência destaca as diferentes frequências que compõem o espectro, proporcionando a identificação de sinais interferentes, dentre outras informações.

### 3.3 Analisador de espectro

Analisadores de espectro de radiofrequência são instrumentos utilizados em situações nas quais se necessita realizar uma análise do espectro radioelétrico no domínio da frequência.

Em determinadas situações, analisar um sinal no domínio do tempo com um osciloscópio pode não ser adequado para obter informações relevantes. Considerando que há diversos serviços que utilizam radiofrequência, como transmissão de televisão e rádio, sistemas de telefonia móvel, comunicações policiais e de emergência, entre outras aplicações, é de extrema importância garantir que cada serviço opere na frequência designada e dentro da largura de banda determinada. Assim, havendo uma situação de um serviço causar interferência radioelétrica em outro, o analisador de espectro é o equipamento capaz de detectar o problema e subsidiar a tomada de decisão que garanta a operação adequada dos serviços (KEYSIGHT, 2023). Na Figura 2, é apresentado o analisador de espectro, modelo MS2720T, Anritsu.

Figura 2 - Analisador de espectro, modelo MS2720T, Anritsu.



Fonte: Acervo do Autor, 2023.

A maneira como o analisador de espectro apresenta as informações de uma medição é através de um gráfico X-Y, onde o eixo horizontal é calibrado em frequência, e o eixo vertical calibrado em amplitude, este geralmente em escala logarítmica, permitindo que sinais com grandes diferenças em amplitude sejam exibidos simultaneamente (KEYSIGHT, 2023).

Outra maneira bastante comum de um analisador de espectro apresentar os resultados de uma medição é através do gráfico em cascata ou *waterfall*. Esse recurso exibe a amplitude do sinal em função da frequência e do tempo. Nesse tipo de representação, a amplitude é indicada por cores, onde diferentes cores indicam diferentes níveis de amplitude, sendo bastante útil, por exemplo, na identificação de interferências radioelétricas.

Esse equipamento desempenha um papel fundamental na área de telecomunicações, ao analisar o espectro radioelétrico determinando, como por exemplo, a largura de banda ocupada pelos sinais, além de outros componentes espectrais como frequência fundamental, harmônicos, potência, distorção, ruído, dentre outros (SILVA, 2012).

### 3.4 Transformada de Fourier (TF)

Transformadas são ferramentas matemáticas de fundamental importância para analisar e processar sinais em diversas áreas da Engenharia e Ciências. Essas funções são utilizadas para converter um sinal do seu domínio original para outro, proporcionando uma identificação e análise adequadas de suas características e propriedades.

Conforme Moura (2015), existem diferentes tipos de transformadas que podem ser aplicadas a um sinal, por exemplo, a transformada de Fourier que converte dados do domínio do tempo para o domínio da frequência. Desta forma, permite identificar os componentes de frequência presentes em um sinal e sua contribuição para o sinal global. Sendo útil para identificar frequências dominantes, ruídos, interferências e padrões de repetição.

De acordo com o Handbook ITU (2011), a Transformada de Fourier é um método baseado na ideia de que é possível construir qualquer sinal real, não importando sua forma de onda, a partir da soma de várias ondas senoidais com diferentes amplitudes, frequências e fases. Como consequência, qualquer sinal de tempo recebido pode ser decomposto em suas várias componentes de frequência.

A ideia foi apresentada em 1822 por Jean Baptiste Joseph Fourier, para sinais periódicos e limitados em banda, como Séries de Fourier, pela seguinte equação:

$$x(t) = \sum_{k=-N}^N C_k e^{j(\omega_k t)} \quad (3.4.1)$$

Entretanto, as Séries de Fourier possuem limitações, pois são aplicáveis apenas aos sinais periódicos que apresentam uma relação harmônica entre si e, na prática, é muito mais comum a existência de sinais aperiódicos, cujas quantidades de componentes que os formam são infinitas (ITU, 2011).

Para determinar as componentes em frequência de um sinal não periódico  $x(t)$ , toma-se

esse sinal como o limite de um sinal periódico  $x_T(t)$ , com período  $T$ , e faz-se esse período tender ao infinito, sendo a Transformada de Fourier um caso limite da Série de Fourier (LATHI, pág. 604):

$$x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} x_T(t) \quad (3.4.2)$$

De acordo com Oppenheim (2010), Fourier intuiu que um sinal aperiódico pode ser visto como um sinal periódico com um período infinito. À medida que o período se torna infinito, os componentes de frequência se aproximam de modo a formar um conjunto contínuo, e a soma da série de Fourier torna-se uma integral.

Como consequência, a equação 3.4.1 assume a forma a seguir:

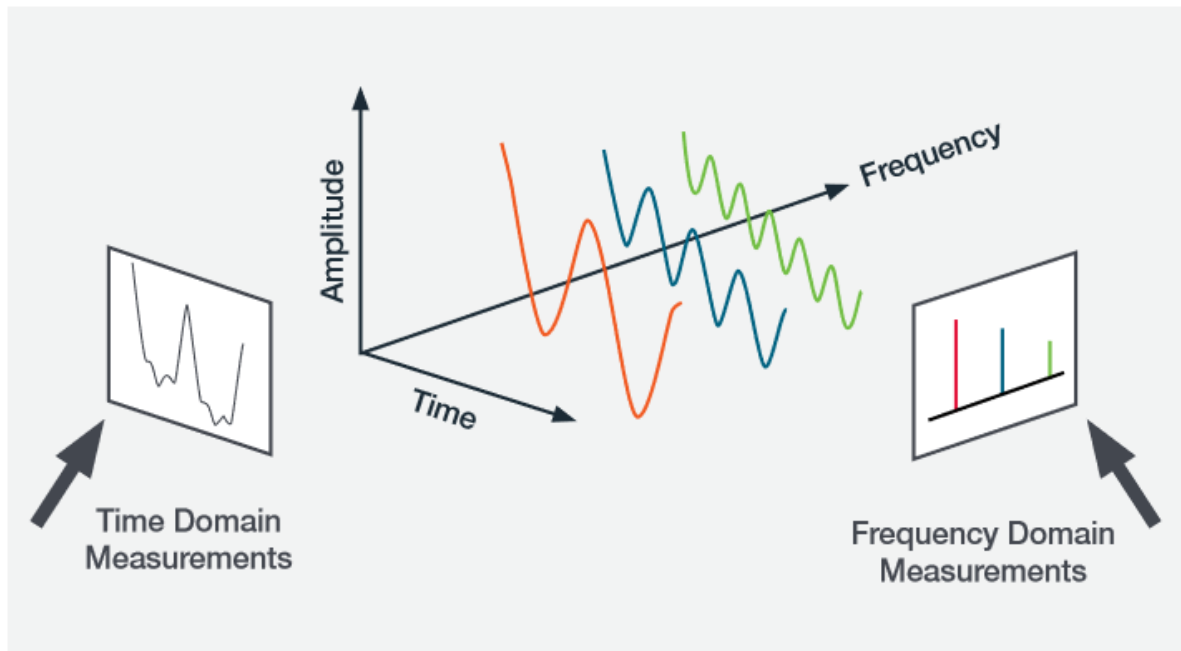
$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \cdot e^{j(\omega t)} d\omega \quad (3.4.3)$$

Invertendo-se a função 3.4.3, obtém-se a equação a seguir, conhecida como Transformada de Fourier ou Integral de Fourier:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{j(\omega t)} dt \quad (3.4.4)$$

Conhecendo a representação de um sinal em termos de suas componentes de frequência, é possível reverter o processo de transformação de Fourier e obter a forma de onda original no tempo utilizando a equação 3.4.3, conhecida como Antitransformada ou Transformada Inversa de Fourier. Pode-se observar na Figura 3 um sinal representado nos domínios do tempo e da frequência:

Figura 3 - Domínio do tempo versus domínio da frequência.



Fonte: Tektronix, 2023.

#### 3.4.1 Transformada Discreta de Fourier (TDF)

Observando a integral de Fourier e considerando seus limites de integração, percebe-se que a transformada como ferramenta prática possui limitações, haja vista que, sendo o sinal contínuo e a integração a ser realizada vai de  $-\infty$  à  $+\infty$ , isso demandaria um poder de processamento computacional ilimitado. (ITU, 2011).

Entretanto, de acordo com o Handbook ITU (2011) essa limitação pode ser resolvida discretizando o sinal, com base no Teorema da Amostragem e, em seguida, aplicando a Transformada Discreta de Fourier (TDF).

De acordo com Lathi (2007), o teorema da amostragem é a ponte entre os mundos de tempo contínuo e de tempo discreto, pois a informação de um sinal contínuo amostrado é equivalente à de um sinal discreto. Enquanto um sinal contínuo amostrado é uma sequência de impulsos, um sinal discreto representa a mesma informação através de uma sequência de números.

Segundo o teorema, um sinal de tempo contínuo  $x(t)$  e limitado em banda  $B$  Hz, pode ser reconstituído a partir de suas amostras, desde que estas sejam tomadas uniformemente a uma taxa de  $f_s > 2.B$  Hz. Dessa forma, o sinal  $x(t)$  pode ser recuperado a partir de suas amostras,

passando o sinal amostrado  $x[n]$  em um filtro passa-baixa. Considerando um filtro ideal, a menor taxa de amostragem é de  $f_s = 2.B$ , também conhecida como taxa de Nyquist.

Aplicando a Transformada Discreta de Fourier ao sinal amostrado  $x[n]$ , obtém-se a representação desse sinal no domínio da frequência,  $X[k]$ , definido por:

$$X[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (3.4.1.1)$$

Sendo  $N$  o número total de amostras, e  $n$  um número inteiro que vai de 0 a  $N-1$ .

A inversa, TDFI, é definida por:

$$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cdot e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (3.4.1.2)$$

### 3.4.2 Transformada Rápida de Fourier (FFT)

O número de cálculos necessários para se executar a TDF foi drasticamente reduzido por um algoritmo desenvolvido por Cooley e Tukey em 1965. Esse algoritmo, chamado de Transformada Rápida de Fourier, reduz o número de cálculos da ordem de  $(N_0)^2$  para  $N_0 \cdot \log N_0$ . (LATHI, pág. 719).

A importância dessa ferramenta reside no fato de que é adequada para uma eficiente implementação digital, reduzindo em algumas ordens de grandeza o tempo necessário para calcular as transformadas. Com essa ferramenta, muitas ideias interessantes, mas anteriormente impraticáveis, utilizando a série e a transformada de Fourier de tempo discreto, tornaram-se realizáveis, e o desenvolvimento das técnicas de análise de sinais e sistemas de tempo discreto seguiu em um ritmo acelerado. (OPPENHEIM, pág. 107).

## **4 O ÓRGÃO REGULADOR E A TV BOX**

### **4.1 Anatel**

Criada pela Lei Geral de Telecomunicações, ainda vigente, Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, foi a primeira Agência Reguladora a ser instalada no Brasil, em 5 de novembro de 1997.

Sendo um dos objetivos de sua criação adotar medidas necessárias para o desenvolvimento das telecomunicações brasileiras, destacam-se no rol de atribuições da Agência, dentre outras:

- Implementar, em sua esfera de atribuições, a política nacional de telecomunicações;
- Representar o Brasil nos organismos internacionais de telecomunicações, sob o comando do Poder Executivo;
- Administrar o espectro de radiofrequências e o uso de órbitas, expedindo as respectivas normas;
- Expedir ou reconhecer a certificação de produtos, observados os padrões e as normas por ela estabelecidos.

#### **4.1.1 Certificação e Homologação de produtos**

Sendo uma das principais atribuições da Agência Nacional de Telecomunicações, a certificação e homologação de produtos para telecomunicações busca garantir ao consumidor a aquisição e o uso de produtos para telecomunicações que respeitam padrões de qualidade, de segurança e de funcionalidades técnicas regulamentadas que visam o uso eficiente e racional do espectro radioelétrico, da compatibilidade eletromagnética e da não agressão ao meio ambiente (ANATEL, 2023).

Com o objetivo de fortalecer a atuação de sua fiscalização no combate à comercialização e à utilização de equipamentos para telecomunicações sem homologação, a ANATEL criou em 2018 o Plano de Ação de Combate à Pirataria - PACP, promovendo ações de fiscalização em todo o país, tanto por meio de ações autônomas como em parcerias com outros Órgãos da Administração Pública - os Ministérios da Justiça e da Economia, a Receita Federal, as Polícias Federal e Rodoviária Federal, entre outros (ANATEL, 2021).

Essas ações seguem um planejamento anual e prioriza a fiscalização dos elementos centrais da cadeia de comercialização de produtos de telecomunicações, tais como fabricantes, importadores e distribuidores, e desde a criação do PACP até o início de 2023 já foram retirados do mercado mais de 6 milhões e 300 mil produtos, com valor estimado em mais de R\$ 586.000.000,00 (Quinhentos e oitenta e seis milhões de reais). Dentre os produtos estão: antenas, carregadores de celular, bloqueadores de sinal, equipamentos de radiação restrita, Smartv Box ou Tv Box (ANATEL, 2020).

Equipamentos destinados à recepção de sinais de tv a cabo ou de vídeo sob demanda, como é o caso das Smartv Boxes, para que sejam certificados e possam ser comercializados e utilizados em território nacional, precisam comprovar a proteção dos dados do usuário. Assim, produtos não homologados podem conter falhas de segurança, permitindo que criminosos consigam acessar dados pessoais dos usuários como informações financeiras ou arquivos e fotos que estejam armazenados em dispositivos que compartilham a mesma rede doméstica (ANATEL, 2021).

Em 2021 a ANATEL criou o Grupo de Trabalho Tv Box - GT Tv Box com o objetivo de realizar engenharia reversa dos aparelhos de Smartv Boxes não homologados. Com o estudo verificou-se que, além desses equipamentos violarem conteúdos protegidos por direitos autorais, alguns modelos possuem *malware* embarcado que se conectam a uma *botnet* (rede de robôs), permitindo captura de dados e informações de usuários (ANATEL, 2021).

## 4.2 Tv Box

Atualmente, é possível encontrar à venda no mercado brasileiro 2 tipos de Smartv Boxes, e de marcas diversas:

- O primeiro tipo a ser descrito trata-se de um equipamento cuja função é transformar um aparelho receptor de televisão simples, limitado a acessar programação de emissoras locais de radiodifusão transmitindo em *broadcast*, em televisão inteligente – Smart Tv – possibilitando acesso a conteúdos diversos, de forma legal e de qualquer lugar do planeta, principalmente por meio da internet. Os usuários desse tipo de equipamento passam a ter acesso a serviços sob demanda – *On Demand* - como Netflix, Amazon Prime, Apple Tv, HBO Max, Star Plus, dentre outros, desde que possuam uma assinatura válida com as empresas que oferecem esses serviços. Na Figura 4, é apresentado um tipo de Tv box homologado pela Anatel.

Figura 4 - Tv Box Apple. Equipamento homologado.



**Fonte:** Apple, 2023.

- O segundo tipo trata-se de equipamento que apresenta funcionalidades voltadas a oferecer acesso não autorizado a conteúdos protegidos por direitos autorais. Os usuários desse tipo de equipamento, ao adquiri-lo no comércio, basta conectá-lo à internet e a um aparelho de televisão ou monitor, geralmente por uma porta HDMI, para ter acesso imediato a canais de tv por assinatura, vídeos sob demanda, de maneira ilegal e sem a necessidade de uma assinatura com os serviços ofertados. Assim, o uso desse segundo tipo apresentado é totalmente proibido em território nacional, não encontrando respaldo no arcabouço legal e regulamentar de direitos autorais ou, ainda, das telecomunicações do Brasil. Na Figura 5, é apresentado o aparelho de tv box hTV, modelo H7, que não possui o uso permitido em território nacional.

Figura 5 - Tv Box não homologada, modelo H7.



**Fonte:** Acervo do autor.

De acordo com HTV (2023), a H7 é equipada com processador Amlogic S905x3, memória RAM de 2 GB DDR3.

## 5 RECURSOS EM DESTAQUE

### 5.1 RTL-SDR

Tradicionalmente, as operações matemáticas necessárias para decodificar e processar os sinais de rádio eram realizadas por meio de componentes físicos, como circuitos analógicos, nos rádios convencionais baseados em hardware. No entanto, com o avanço da tecnologia, os computadores se tornaram cada vez mais poderosos, permitindo a execução desses cálculos por meio de software. Essa abordagem, conhecida como rádio definido por software (SDR), possibilitou o desenvolvimento de rádios avançados que antes exigiam equipamentos caros com componentes analógicos complexos, agora sendo implementados de forma mais simples e flexível por meio de software. Com o uso do SDR, recursos como sintonia de sinais de banda larga e exibições de espectro em cascata (*waterfall*) se tornaram acessíveis a um custo muito mais baixo do que os rádios tradicionais (LAUFER, 2014).

No início da década de 2010, um hacker de hardware chamado Eric Fry descobriu que os dados brutos I/Q de sintonizadores de Tv DVB-T populares e produzidos em massa, e baseados no chipset RTL2832U da Realtek, poderiam ser acessados diretamente. Essa descoberta permitiu utilizar esse sintonizador como um rádio definido por software de banda larga, ao utilizar drivers personalizados (RTL-SDR, 2023).

Na Figura 6 é apresentado o rádio definido por software RTL-SDR Blog V3, que foi utilizado no presente trabalho, cujas informações básicas estão listadas a seguir.

Figura 6 - Equipamento RTL-SDR, modelo V3.



**Fonte:** Acervo do autor.

De acordo com RTL-SDR (2023), o modelo V3 possui faixa de frequência de 24 MHz até 1766 MHz, largura de banda de 2,4 MHz, ADC RTL2832U – 8 bits, e corrente típica de consumo de 270 a 280 mA.

Dentre as várias aplicações do SDR, destacam-se:

- Recepção de comunicação de controle de tráfego aéreo;
- Rastrear posições de aeronaves como um radar com decodificação ADS-B;
- Decodificar mensagens curtas ACARS de aeronaves;
- Rastrear posições de embarcações marítimas como um radar com decodificação AIS;
- Rastrear e receber dados de balões meteorológicos lançados por agências meteorológicas;
- Receber sinais de sensores de temperatura sem fio e sensores de medidores de energia sem fio;
- Usar RTL-SDR como um analisador de espectro;
- Recepção de rádio FM e decodificar informações RDS;
- Triangular a fonte de um sinal;
- Ouvir rádio amador em VHF;
- Decodificar pacotes APRS de rádio amador;
- Receber sinais GPS e decodificá-los;
- Radioastronomia, dentre outros.

Desde sua descoberta, o RTL-SDR se tornou extremamente popular e revolucionou o acesso ao espectro radioelétrico. Atualmente, pessoas de todas as áreas, incluindo entusiastas com orçamento limitado, têm a possibilidade de explorar o espectro radioelétrico, haja vista que, há alguns anos, ter acesso a essa capacidade de processamento de um SDR seria proibitivo devido ao alto custo financeiro, que chegava a atingir a casa dos milhares de dólares (RTL-SDR, 2023).

## 5.2 GNU Radio Companion

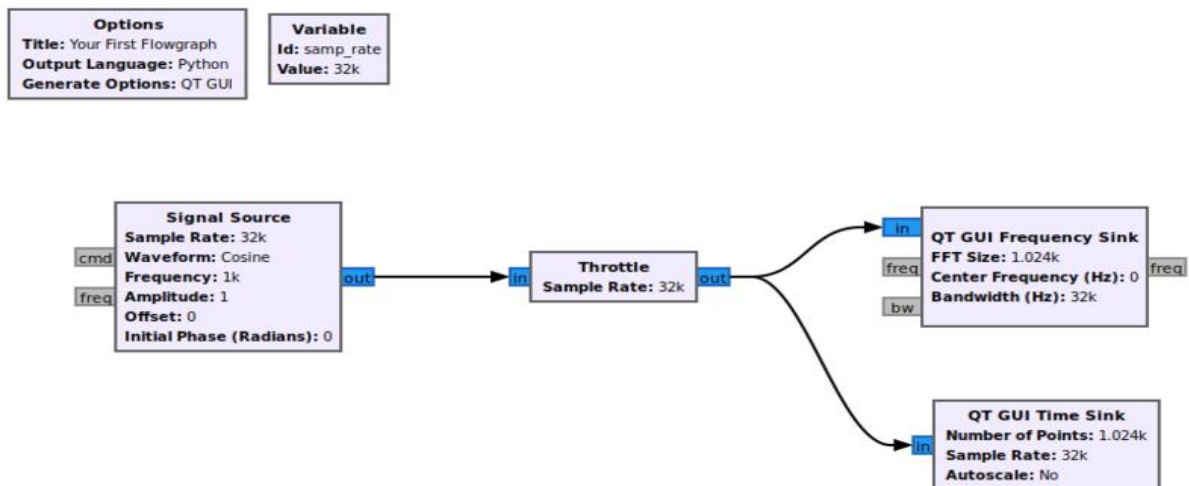
De acordo com o site GNU Radio (2023), o GNU Radio Companion é um conjunto gratuito e aberto de ferramentas de desenvolvimento de software que inclui blocos de processamento que podem ser integrados, dispostos e estruturados em fluxogramas de maneira descomplicada para criar aplicativos avançados de processamento de sinal.

É possível utilizar toda uma gama de ferramentas tanto com hardware de radiofrequência de baixo custo disponível no mercado, como SDR-SLT, quanto em ambiente de simulação, possibilitando a criação de rádios definidos por software. Todos os blocos são escritos em linguagem C++. Para simplificar a montagem dos fluxogramas, a interface do GNU Radio é exportada para a linguagem Python, e utilizada como linguagem de script (GNU Radio, 2023).

O GNU Radio é amplamente utilizado em diferentes setores, incluindo pesquisa, indústria, academia, governo e entre amadores, e em uma variedade de aplicações do mundo real, abrangendo desde o processamento de áudio até comunicações móveis, rastreamento de satélites, sistemas de radar, redes GSM, dentre outras. Em suma, pode ser utilizado para o desenvolvimento de soluções para quase todo o padrão de comunicação com limitação de banda (GNU Radio, 2023).

Na figura 7 a seguir é apresentado um exemplo de fluxograma gerado no kit de ferramentas GNU Radio Companion. Foi aplicada a FFT em um sinal cosseno, e frequência de 1 kHz.

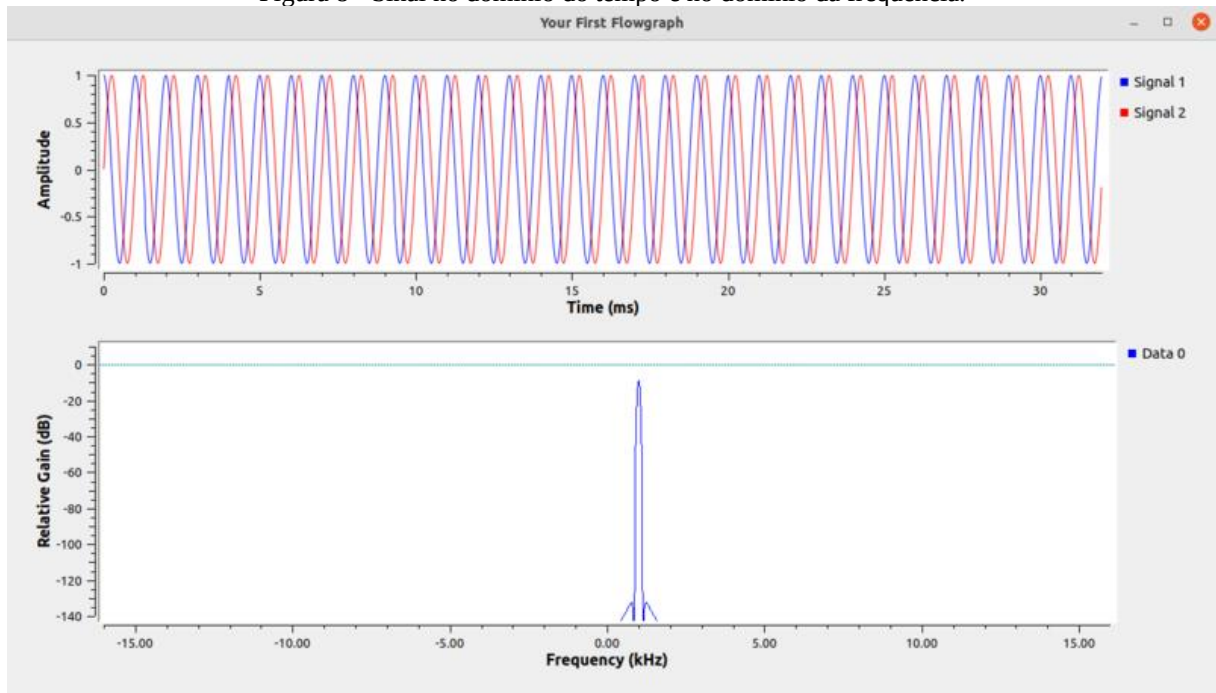
Figura 7 - Fluxograma para FFT de um sinal cosseno de 1 kHz de frequência.



Fonte: GNU Radio, 2023.

Ao executar o fluxograma da figura 7, obtém-se o sinal no domínio do tempo com 1  $V_{pp}$ , e no domínio da frequência, com 1 kHz, conforme apresentado na figura 8:

Figura 8 - Sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência.



Fonte: GNU Radio, 2023.

## 6 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

### 6.1 Itens necessários

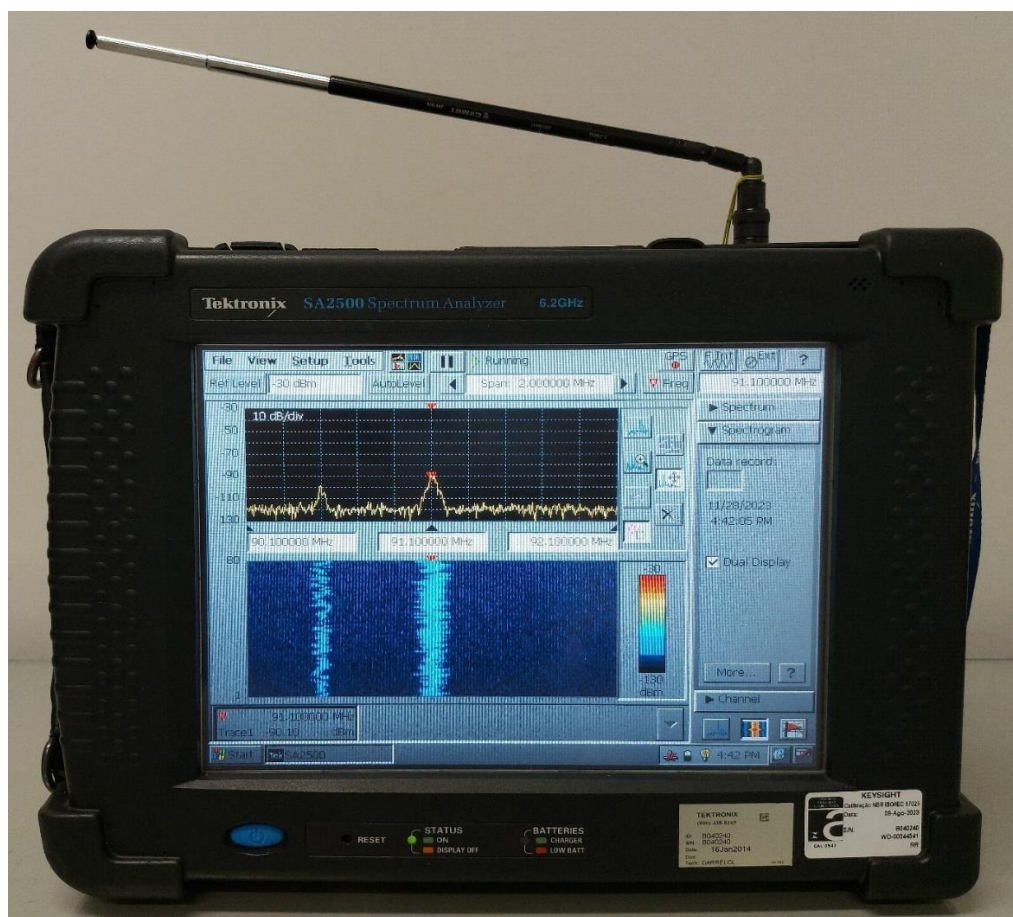
Para a realização do estudo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 1 Tv Box In X Plus com processador Rockchip RK322x, *quad-core* Cortex-A7, frequência de operação de 1,2 GHz, 1 GB de memória Ram, e 8 GB de armazenamento interno. O equipamento possui 2 portas USB, entrada para cartão microSD, rede *Ethernet*, conexão *wireless*, 1 porta HDMI, saída óptica para áudio digital, e saída de áudio e vídeo AV.
- 1 Tv Box H7 com processador Amlogic S905x3, 2100 MHz, 2 GB de memória Ram DDR3, e 16 GB de armazenamento interno. Há 2 portas USB, rede *Ethernet*, conexão *wireless*, saída óptica de áudio digital, e 1 porta HDMI;
- 1 Cabo USB genérico com conector macho nas duas pontas;
- 1 Cabo adaptador genérico VGA-HDMI, com saída de áudio;
- 1 teclado USB da marca Fortrek;
- 2 antenas telescópicas genéricas da marca Comex, modelo W100RX, conexão BNC macho, para recepção na faixa de 25 MHz até 1300MHz;
- 1 hub com 4 portas USB 2.0, marca GOtech;
- 1 mouse sem fio Microsoft, modelo 1850;
- 1 adaptador USB de áudio com saída P2, marca Vinik;
- 1 analisador de espectro profissional, marca Tektronix, modelo SA2500, para recepção na faixa de 10 kHz até 6,2 GHz;
- 1 pendrive de 16 GB, marca Kingston;
- 1 conector adaptador N macho-BNC fêmea;
- 1 conector adaptador N fêmea – SMA macho;
- 2 cartões de memória microSD, de 64 GB, marca Sandisk, e 16 GB, marca Shandian, com adaptador;
- 1 rádio definido por *software* RTL-SDR com entrada SMA fêmea e saída USB. Faixa de recepção de 24 MHz até 1766 MHz, largura de banda de 2,4 MHz, ADC RTL2832U – 8 bits;
- 1 monitor HP, modelo w17e;

- 1 bateria automotiva ERBS, 60Ah;
- 1 inversor de energia DC-AC, marca LUOGAO, 500 W;
- 1 *Notebook*, Acer, modelo Aspire E15, rodando Windows 10 (64 bits), para criação das mídias de inicialização.

Nas Figuras 9 e 10 a seguir, são apresentados o analisador de espectro Tektronix SA2500 e os componentes utilizados, respectivamente.

Figura 9 - Analisador de espectro Tektronix SA2500.



Fonte: Acervo do Autor.

Figura 10 - Componentes utilizados no experimento.

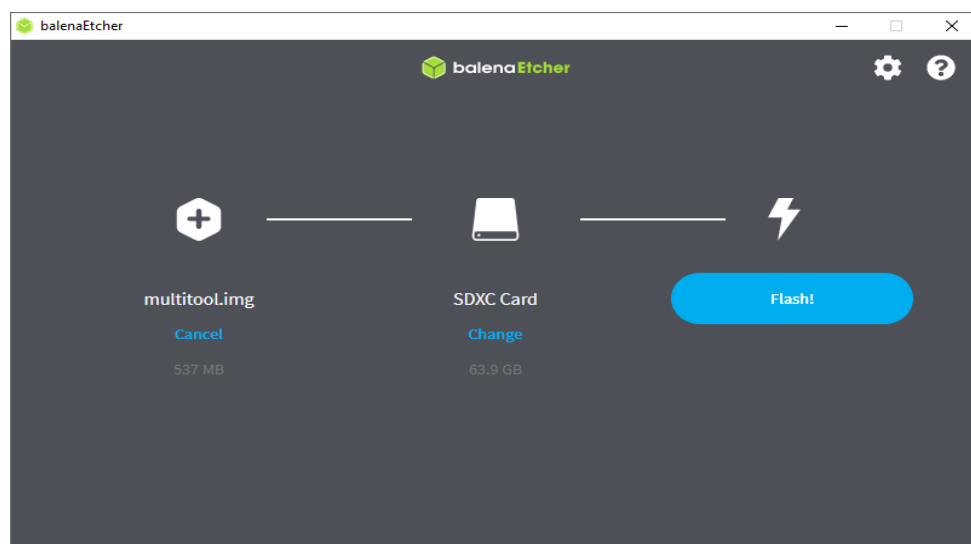


Fonte: Acervo do Autor.

Também foi necessária a utilização dos seguintes softwares:

- Balena Etcher: *Software* gratuito e de código aberto com o qual é possível criar mídias de instalação de sistemas operacionais a partir de imagens “.iso” inicializáveis. Foi utilizada a versão para Windows 10 (64 bits). Na Figura 11 é apresentada a tela inicial do software em questão.

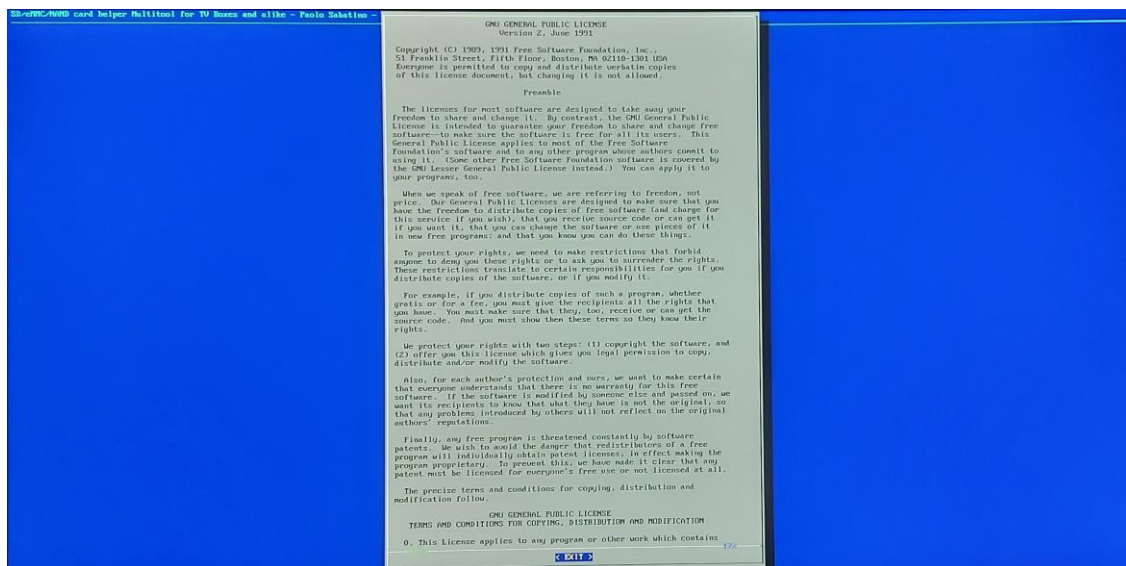
Figura 11 - Tela do Balena Etcher.



Fonte: Acervo do Autor.

- Multitool: Ferramenta disponibilizada no fórum oficial do Armbian, e que facilita o processo de limpeza da memória flash interna do equipamento e instalação do sistema operacional. Esta ferramenta é utilizada apenas para dispositivos com processadores Rockchip. A Rockchip disponibiliza o *software* AndroidTool para manutenção em dispositivos com seus chips, porém pela facilidade de instalação e uso foi utilizado apenas o Multitool. Na Figura 12, é apresentada a tela inicial do Multitool.

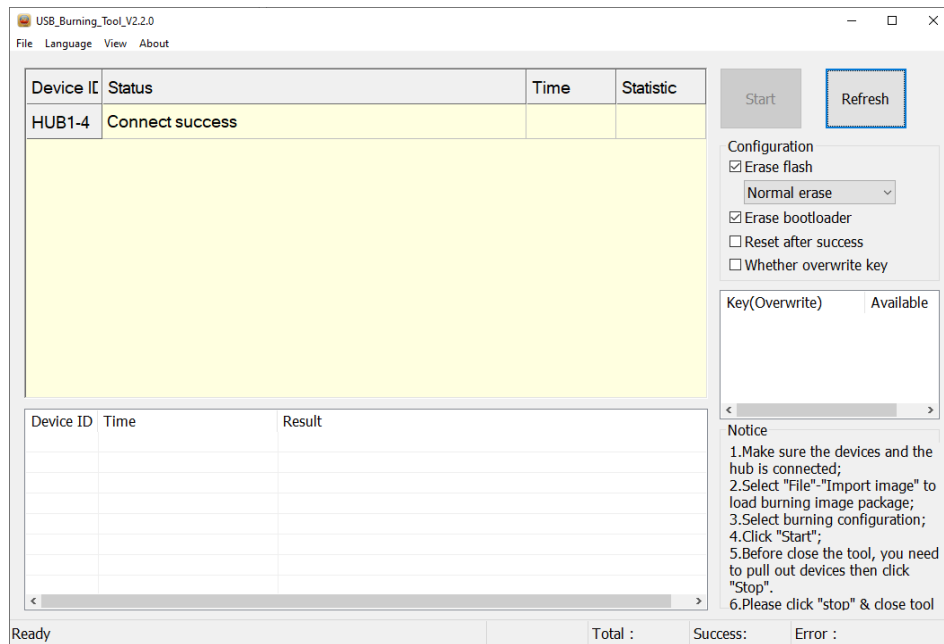
Figura 12 - Tela inicial do Multitool.



Fonte: Acervo do Autor.

- USB Burning Tool, versão 2.2.0: *Software* para manutenção de equipamentos com *chipset* Amlogic, encontrado facilmente na internet. Na Figura 13 a seguir, é apresentada a tela inicial do *USB Burning Tool*.

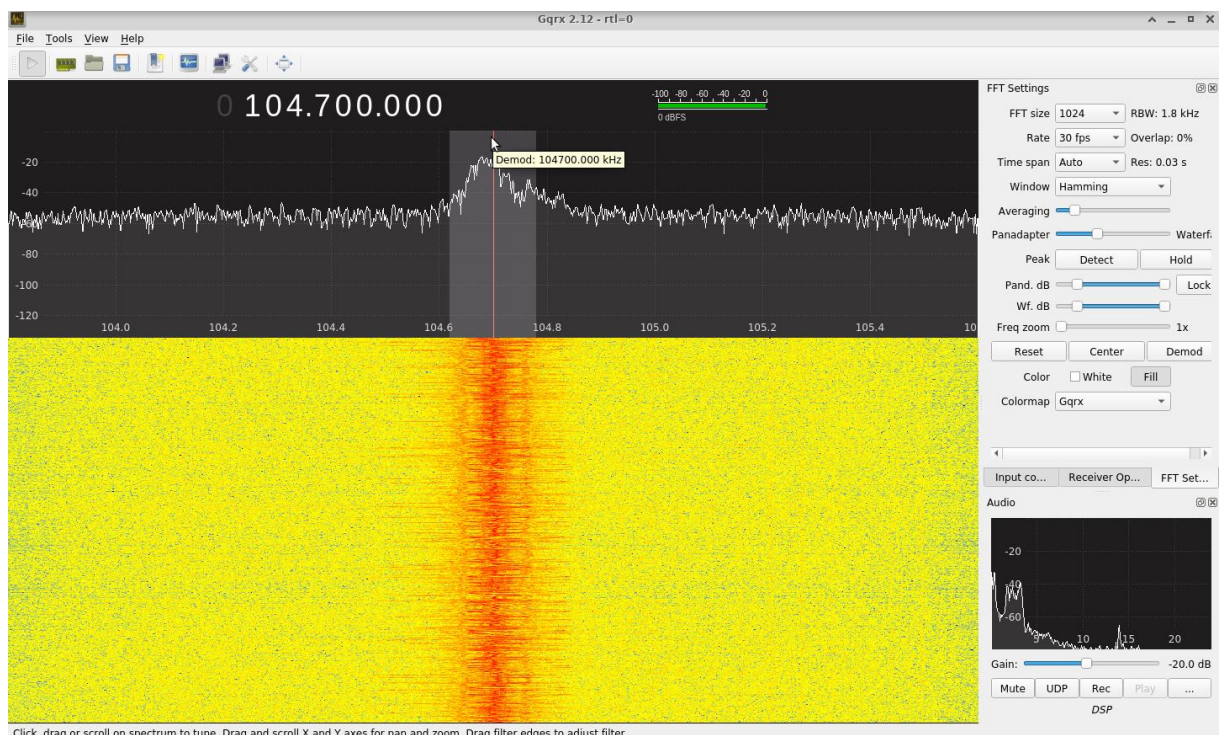
Figura 13 - Tela inicial do USB Burning Tool.



Fonte: Acervo do Autor

- GQRX: Software de código aberto, baseado em *GNU Radio Companion*, utilizado para testes em laboratório. Na Figura 14, é apresentada a tela inicial do GQRX.

Figura 14 - Tela inicial do software GQRX.



Fonte: Acervo do Autor.

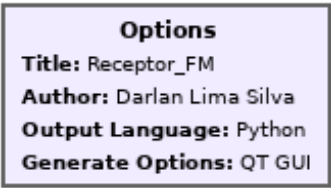
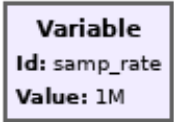
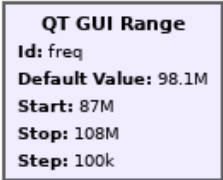
## 6.2 Procedimentos realizados

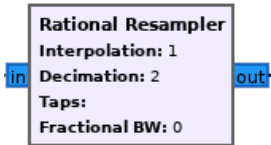
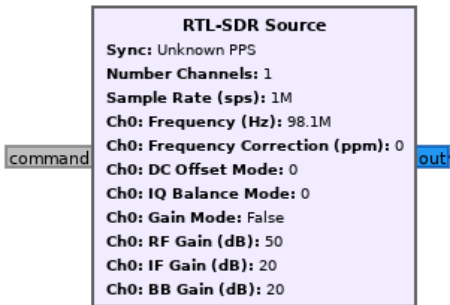
Para a consecução dos objetivos do presente trabalho, não foram consideradas informações técnicas das antenas utilizadas e nem as perdas nos conectores.

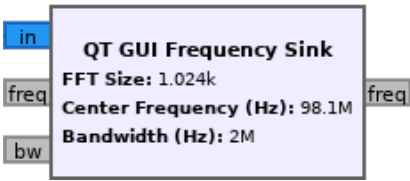
### 6.2.1 Definição do fluxograma no GNU Radio

Após execução dos procedimentos descritos no “Apêndice A”, partiu-se para o desenvolvimento do software receptor de FM, utilizando o *GNU Radio Companion*. A fim de otimizar o desempenho do hardware das Tv Boxes, foi desenvolvido um receptor com o mínimo de blocos necessários para a consecução dos objetivos. Grande parte dos valores configurados foram obtidos experimentalmente, haja vista que a documentação do GRC é bastante escassa, e a literatura existente apresenta conceitos e configurações de maneira superficial. Na Tabela 1 a seguir, são apresentados os blocos utilizados nesse experimento.

Tabela 1 - Blocos utilizados no Receptor\_FM.

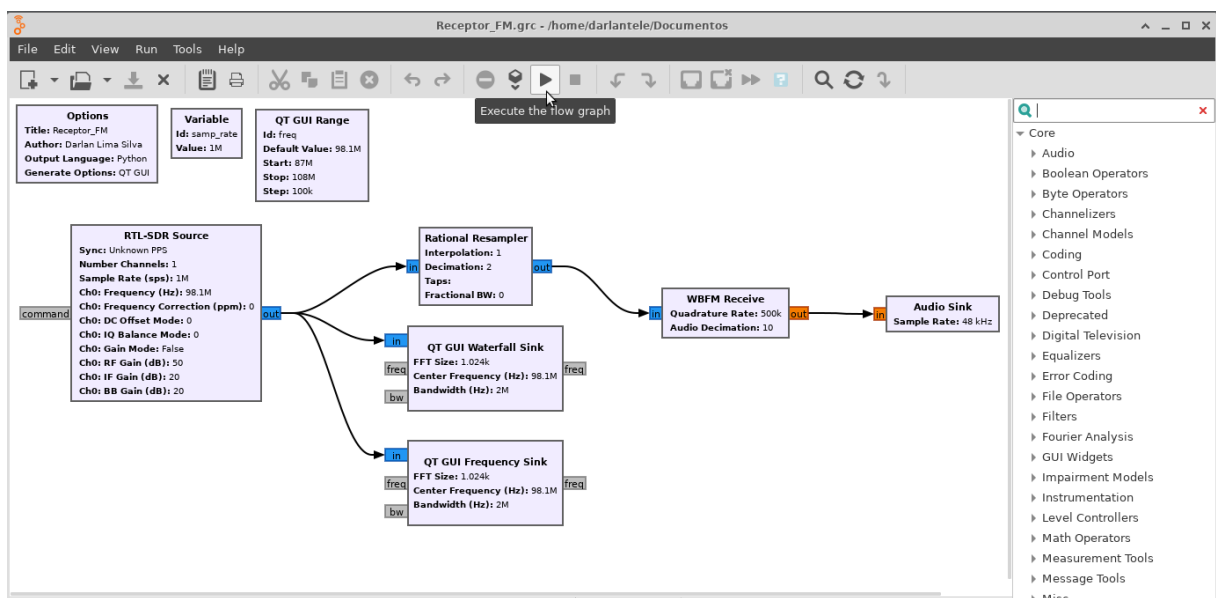
|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Bloco padrão em todos os projetos, onde é possível informar o título, o autor, além de escolher o tipo de linguagem de saída (Python ou C++), além da escolha do tipo de ambiente para o projeto (QT Gui ou WT Gui). Foi escolhido QT Gui por ser o mais atual e possuir um maior número de opções em blocos.</p> |
|  | <p>Bloco com o qual é possível criar uma única variável. Nesse caso, a variável criada foi a taxa de amostragem, ou <i>sample rate</i>, conforme o campo Id. Para o experimento, foi utilizada uma taxa de 1 Msps, ou Mega amostras por segundo.</p>                                                                 |
|  | <p>Esse bloco cria uma variável com um intervalo de valores e um passo. Para o experimento, foi utilizada a faixa de FM com um passo de 100 kHz.</p>                                                                                                                                                                 |

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Em pesquisas realizadas, verificou-se que esse bloco é um filtro responsável por compatibilizar as diferentes taxas de amostragem no fluxograma. Foram realizados testes sem esse bloco e não foi possível escutar a programação das emissoras. Os valores de interpolação (multiplica a taxa de amostragem de entrada) e decimação (divide o resultado da interpolação e entrega para o bloco seguinte) foram determinados em função da compatibilização da taxa de amostragem do bloco RTL-SDR Source e a taxa de 48 kHz do bloco Audio Sink.</p> |
|  | <p>Trata-se do bloco que representa a entrada do sinal, onde foi realizada a configuração em função do RTL-SDR. Foram testados diversos valores de taxa de amostragem, que é apresentado como “amostras por segundo”, ou <i>samples per second</i> (sps). Entretanto, foi a taxa de 1 Msps que apresentou menos perdas de amostras. Outro parâmetro configurado foi a frequência central, e o ganho de RF em dB. Foram testados outros valores, mas o ganho de 50dB mostrou-se o mais adequado para o experimento.</p>                                 |
|  | <p>Esse bloco é responsável por apresentar o gráfico de <i>waterfall</i> (cascata). A largura de banda de 2 MHz foi a mesma utilizada no analisador profissional. Foi configurada a frequência central e a o tamanho da FFT, de modo que esses valores fossem os mesmos do bloco RTL-SDR.</p>                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Bloco responsável por apresentar o sinal do domínio da frequência. Foram configurados os mesmos parâmetros e valores do bloco de <i>waterfall</i>.</p>                                                                               |
|  | <p>Bloco responsável pela demodulação do sinal. Os valores de taxa de quadratura e decimação de áudio foram determinados em função da taxa de amostragem definida no bloco RTL-SDR Source, e do bloco de Audio Sink.</p>                |
|  | <p>Esse bloco é adicionado após o bloco demodulador. É ele que envia o áudio para a placa de som e, conseqüentemente, permite a escuta da emissora escolhida. Foi escolhida a maior taxa, a fim de obter melhor qualidade do áudio.</p> |

Também foi testado um bloco de Filtro Passa-Baixa logo na saída do bloco RTL-SDR Source, porém verificou-se não haver diferença no resultado final, sendo esse bloco suprimido do fluxograma final, a fim de otimizar o desempenho do hardware das Tv Boxes. Na Figura 15 a seguir é apresentado o fluxograma final, utilizado na monitoração em campo.

Figura 15 - Fluxograma utilizado na monitoração em campo.



Fonte: Acervo do Autor.

O *GNU Radio Companion* possui algumas opções de tipos de dados para representar sinais como, por exemplo, Complexos Flutuantes (*Complex Float*), Flutuantes (*Float*) e inteiros (*Integer*). Cada tipo de dado possui uma cor de identificação, que pode ser observada na porta de entrada e saída de cada bloco. Para ligar a saída de um bloco à entrada de outro, as cores devem ser iguais. Os tipos de dados mais comuns no GNU são *Complex Float 32* em azul e *Float 32* em laranja.

Para definir a taxa de amostragem no bloco RTL-SDR Source, foi utilizado o comando *rtl\_test -s <taxa de amostragem>* no terminal, a fim de determinar o valor que proporcionasse a menor quantidade de perdas de amostras. Utilizando Ctrl+C (*control + c*) o teste é interrompido e o sistema apresenta a informação de quantas amostras por milhão foram perdidas.

#### 6.2.2 Definição das emissoras de radiodifusão a serem monitoradas

No dia 17/11/2023 realizou-se consulta ao sistema Mosaico da Anatel, no *site* da Agência, a fim de identificar as emissoras outorgadas para explorarem o serviço de radiodifusão sonora em frequência modulada-FM, na cidade de Palmas/TO. Dentre as emissoras listadas, foram escolhidas as 3 com maior potência de operação autorizada, conforme a seguir:

- Rádio Paz FM, 89.9 MHz. Potência de operação: 7 kW;
- Rádio Meio Norte FM, 91,1 MHz. Potência de operação: 10 kW;
- Rádio Jovem Palmas FM, 104,7 MHz. Potência de operação: 7,5 kW.

#### 6.2.3 Monitoração em campo

No dia 21/11/2023 foi realizada monitoração das 3 (três) emissoras de FM nas proximidades do Aeroporto Internacional de Palmas/TO, das 09h30 às 12h, totalizando 2 horas e 30 minutos de atividade em campo.

Inicialmente, foi realizada monitoração com a Tv Box H7. A alimentação dos equipamentos foi realizada por uma bateria automotiva através de um inversor de tensão. A monitoração de cada emissora foi realizada ao mesmo tempo com a Tv Box e com o Tektronix, e após 1 hora e 15 minutos, aproximadamente, a H7 foi substituída pela In X Plus.

Para cada emissora monitorada foi coletada uma tela de cada equipamento, obtendo-se como resultado 12 telas para posterior análise.

Em relação à configuração do Tektronix, foi utilizado um *span* de 2 MHz, ou seja, todo o intervalo de frequência mostrada na tela possui essa largura, sendo o mesmo valor utilizado no *GNU Radio Companion*.

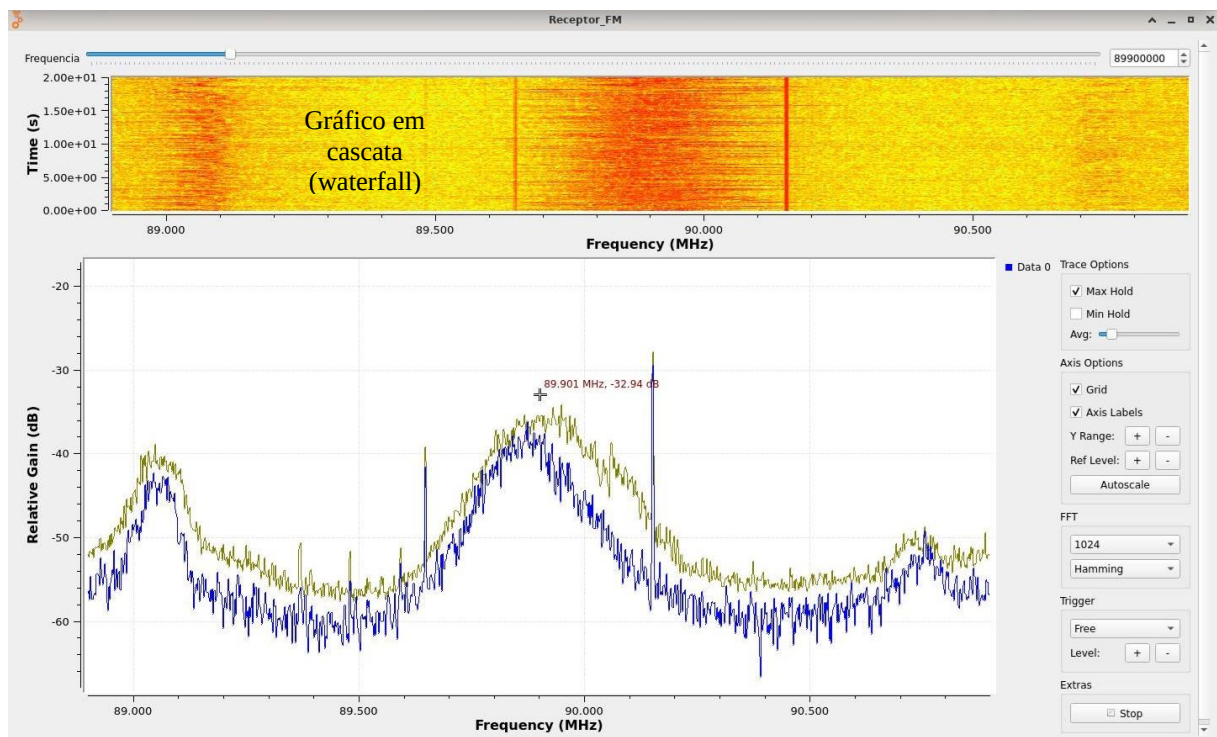
## 7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A ênfase do presente trabalho em relação aos dados coletados e análise destes, recai sobre uma abordagem mais visual do que análise de parâmetros técnicos. Neste experimento não foram consideradas as impedâncias das antenas e conectores e, conseqüentemente, o casamento de impedâncias com os dispositivos utilizados. Não foi realizada a calibração do RTL-SDR em relação ao analisador profissional utilizado, haja vista que esse procedimento requer um gerador de sinal conhecido para referência, equipamento não acessível. Também, por não estarem acessíveis, não foram utilizados filtros físicos para a atenuação de ruídos observados durante as medidas em campo. Assim, essa abordagem permite uma compreensão intuitiva e apropriada, a fim de concluir a utilidade do RTL-SDR em conjunto com Tv Box e GNC na identificação visual e demodulação de sinais na faixa de FM comercial.

### 7.1 Dados do RTL-SDR com a Tv Box H7 e Tektronix SA2500

Na Figura 16 a seguir, é apresentada a medição da frequência 89,9 MHz, rádio Paz FM, com o RTL-SDR e a H7.

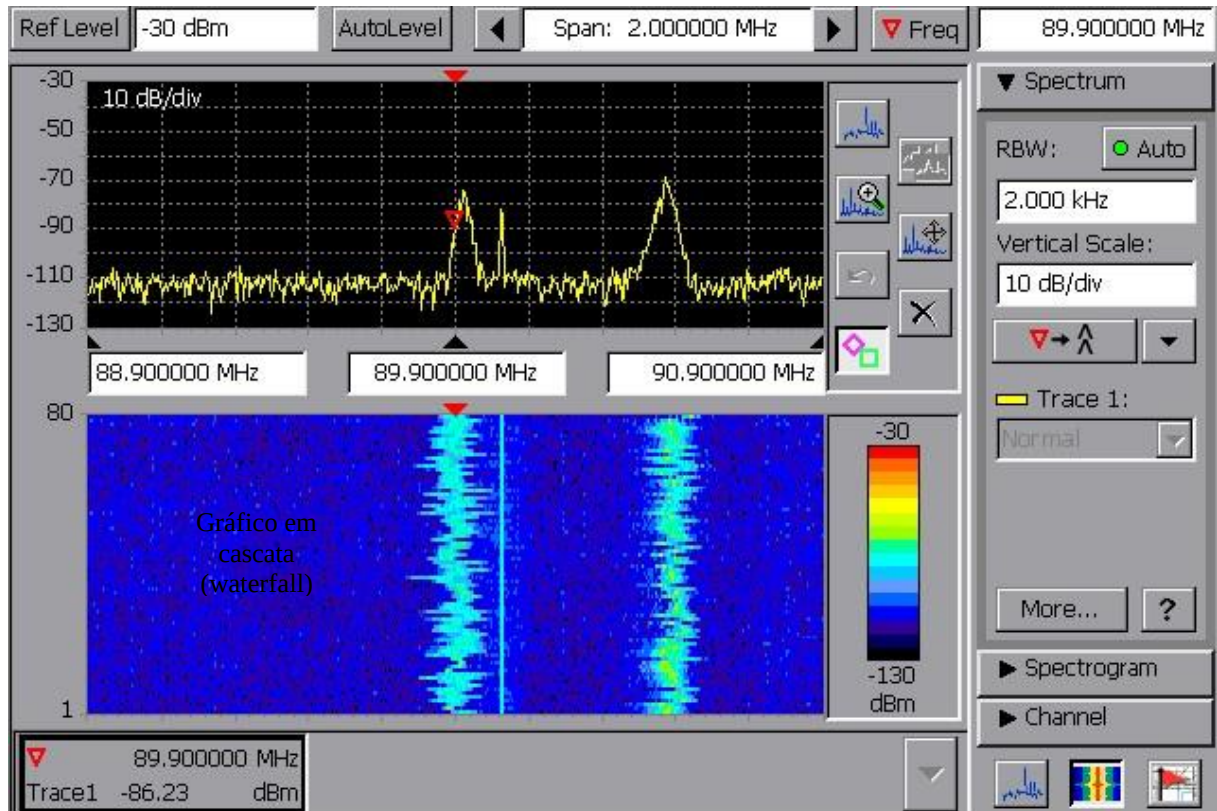
Figura 16 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 89,9 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 17 a seguir, é apresentada a medição da frequência 89,9 MHz, rádio Paz FM, com o Tektronix.

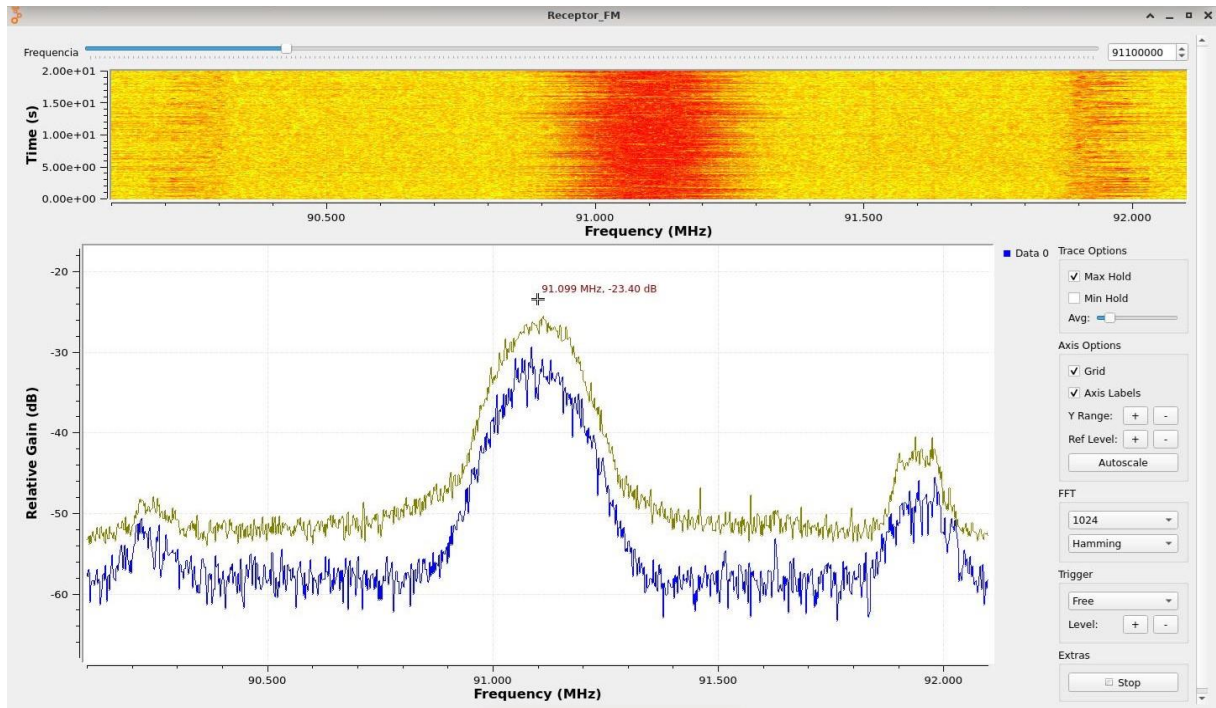
Figura 17 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 89,9 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 18 a seguir, é apresentada a medição da frequência 91,1 MHz, rádio Meio Norte FM, com o RTL-SDR e a H7.

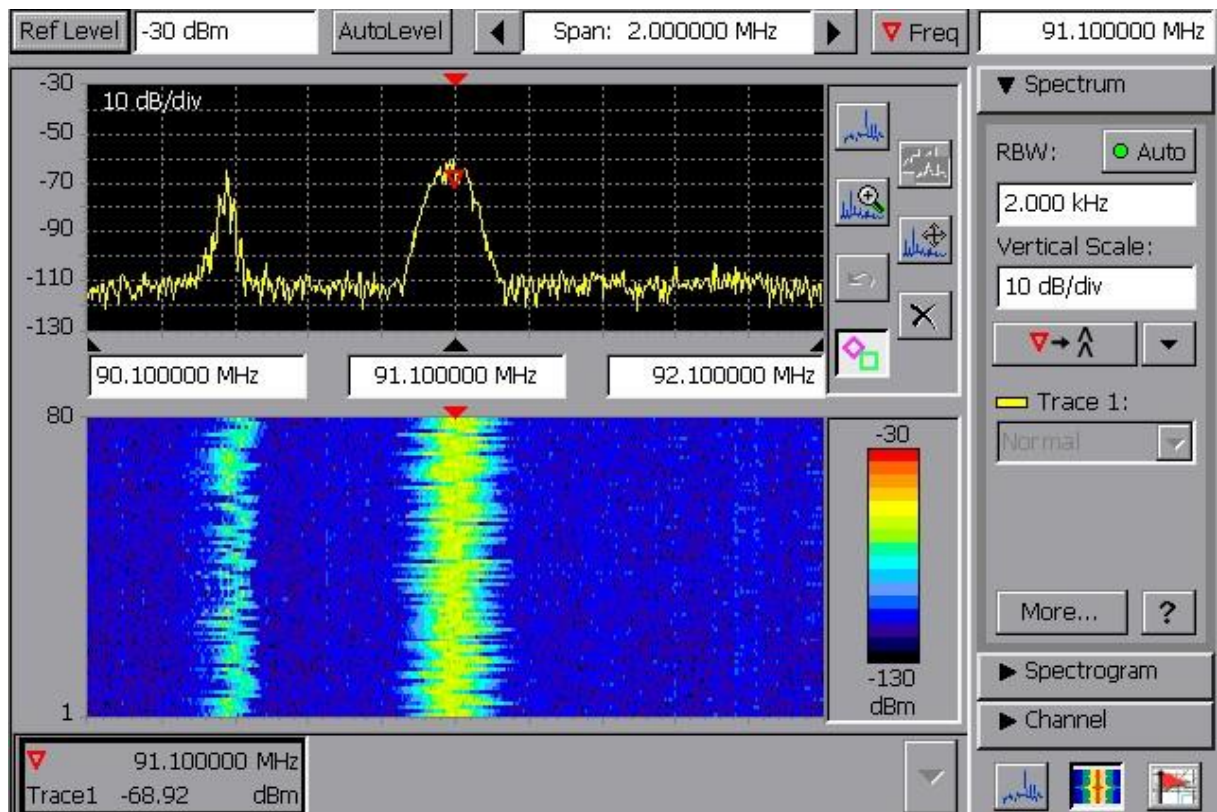
Figura 18 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 91,1 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 19 a seguir, é apresentada a medição da frequência 91,1 MHz, rádio Meio Norte FM, com o Tektronix.

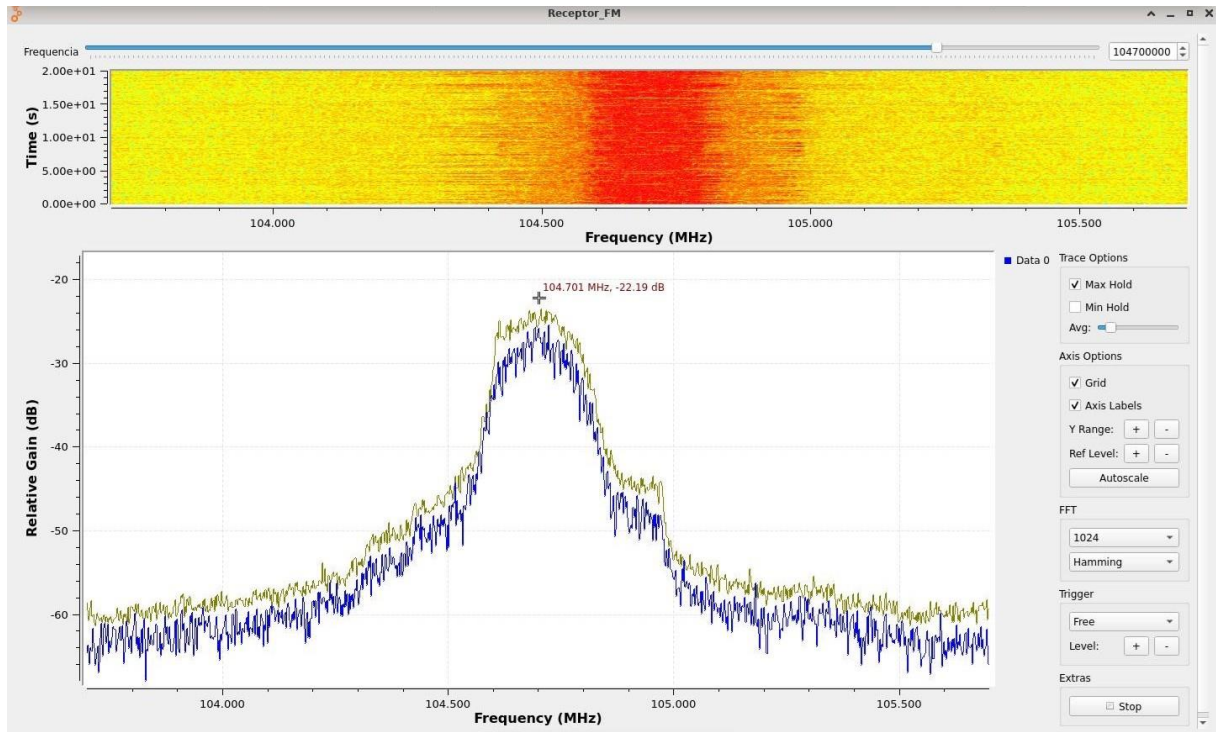
Figura 19 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 91,1 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 20 a seguir, é apresentada a medição da frequência 104,7 MHz, rádio Jovem Palmas FM, com o RTL-SDR e a H7.

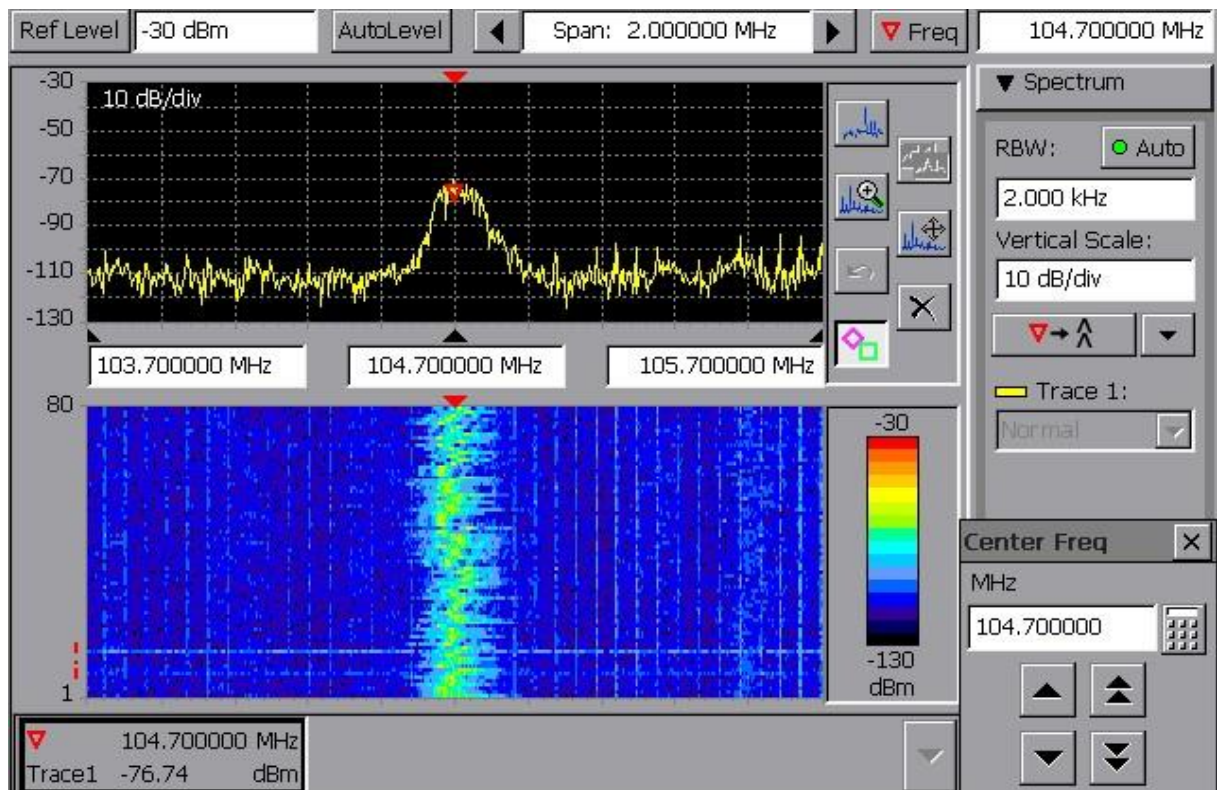
Figura 20 - Medida com RTL-SDR e Tv Box H7. Portadora em 104,7 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 21 a seguir, é apresentada a medição da frequência 104,7 MHz, rádio Jovem Palmas FM, com o Tektronix.

Figura 21 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 104,7 MHz.

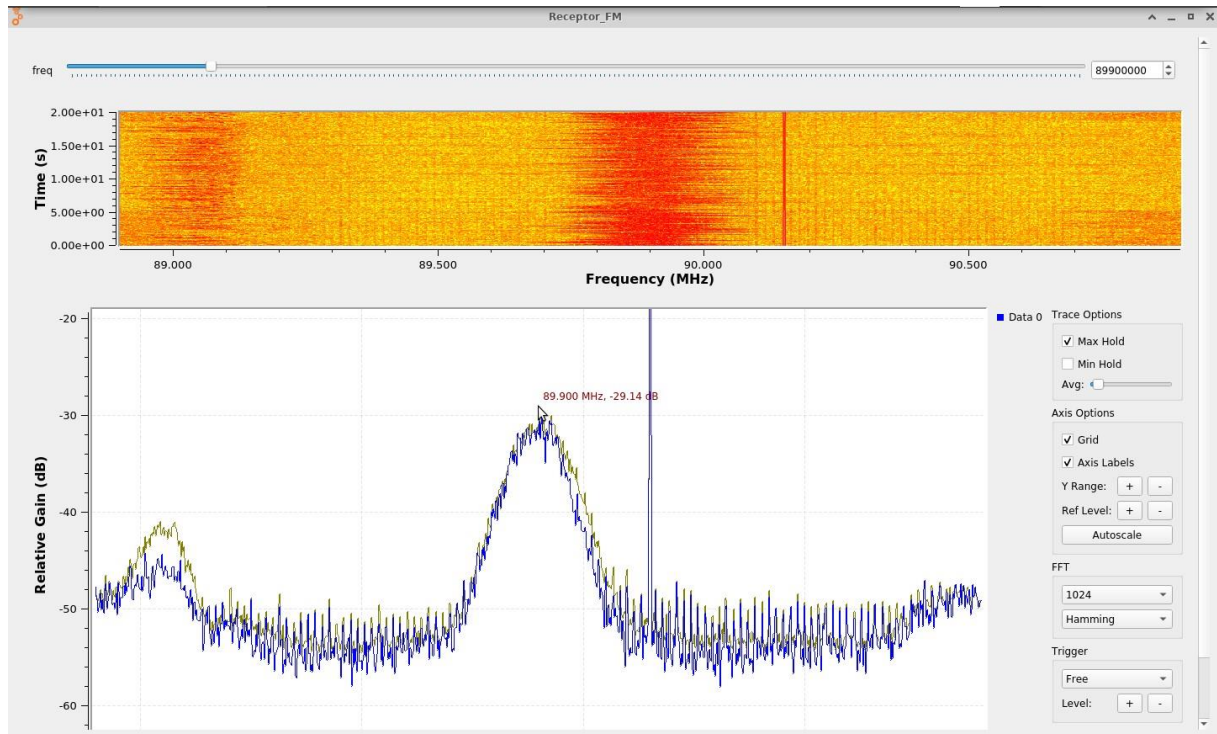


Fonte: Acervo do Autor.

## 7.2 Dados do RTL-SDR com a Tv Box In X Plus e Tektronix

Na Figura 22 a seguir, é apresentada a medição da frequência 89,9 MHz, rádio Paz FM, com o RTL-SDR e a In X Plus.

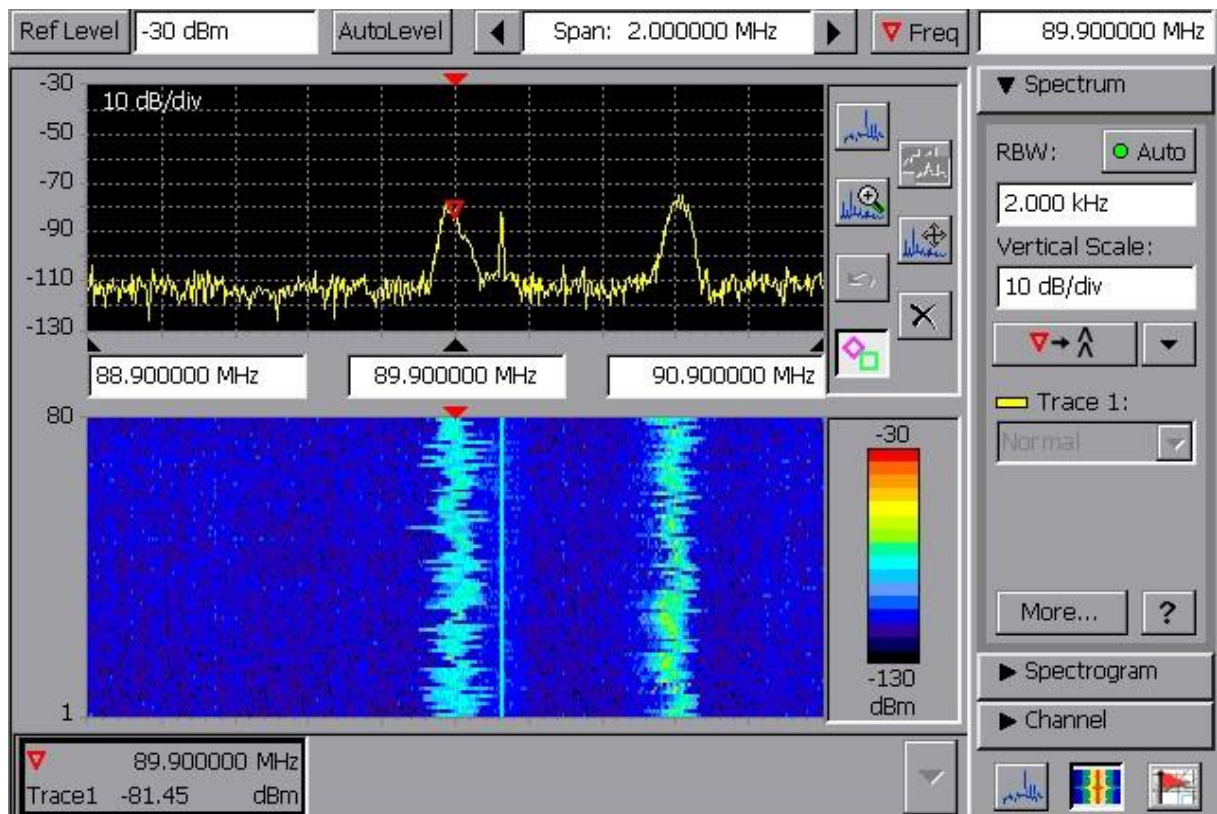
Figura 22 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 89,9 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 23 a seguir, é apresentada a medição da frequência 89,9 MHz, rádio Paz FM, com o Tektronix.

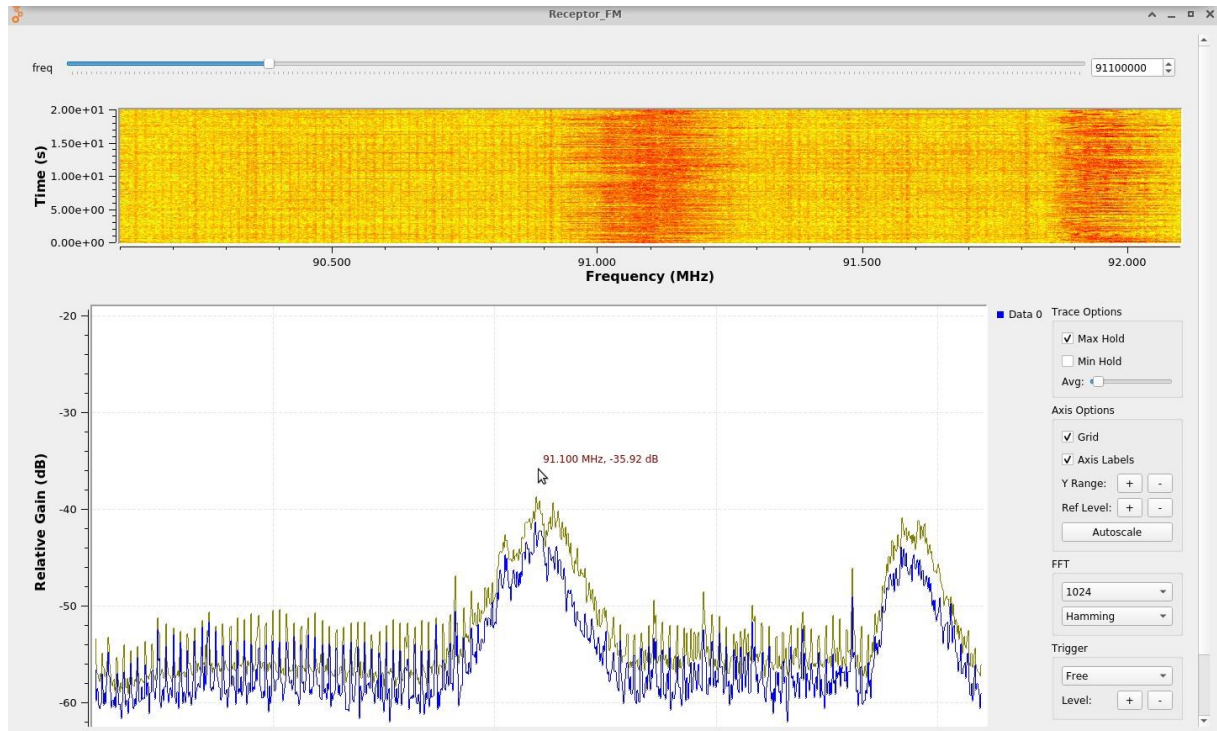
Figura 23 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 89,9 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 24 a seguir, é apresentada a medição da frequência 91,1 MHz, rádio Meio Norte FM, com o RTL-SDR e a In X Plus.

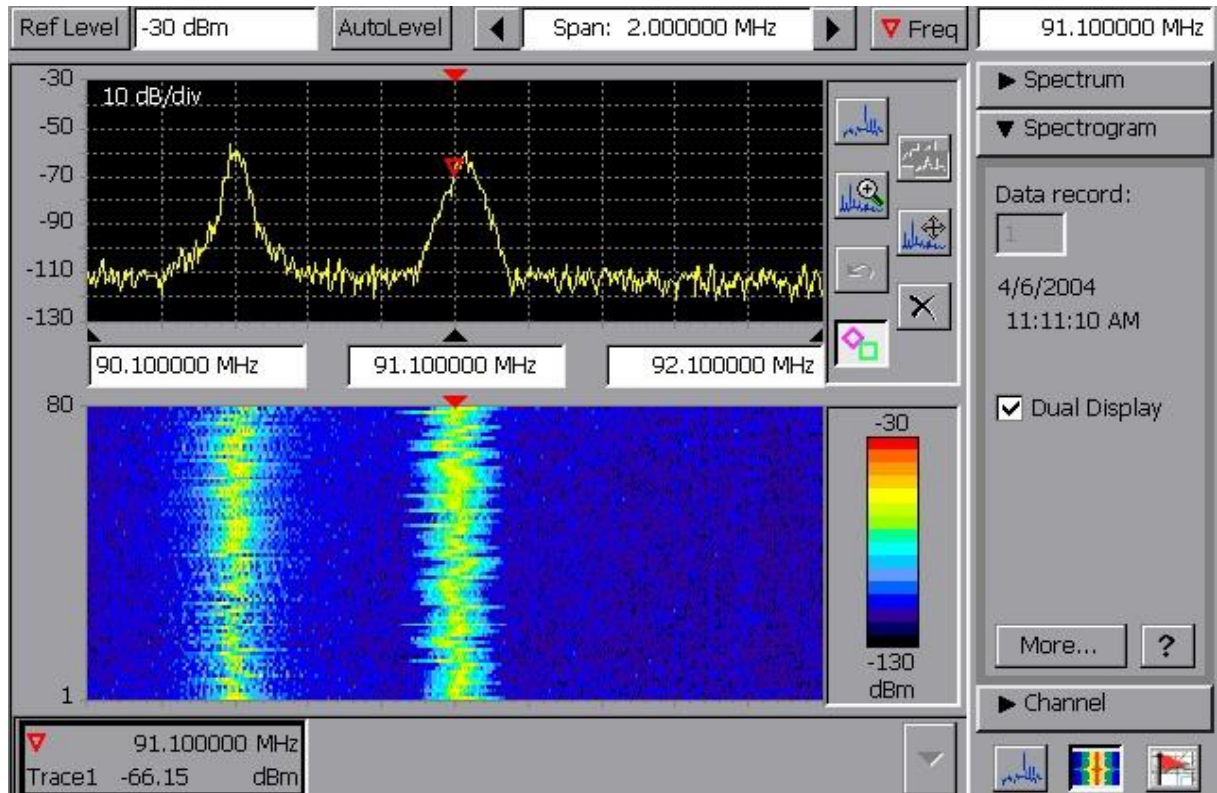
Figura 24 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 91,1 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 25 a seguir, é apresentada a medição da frequência 91,1 MHz, rádio Meio Norte FM, com o Tektronix.

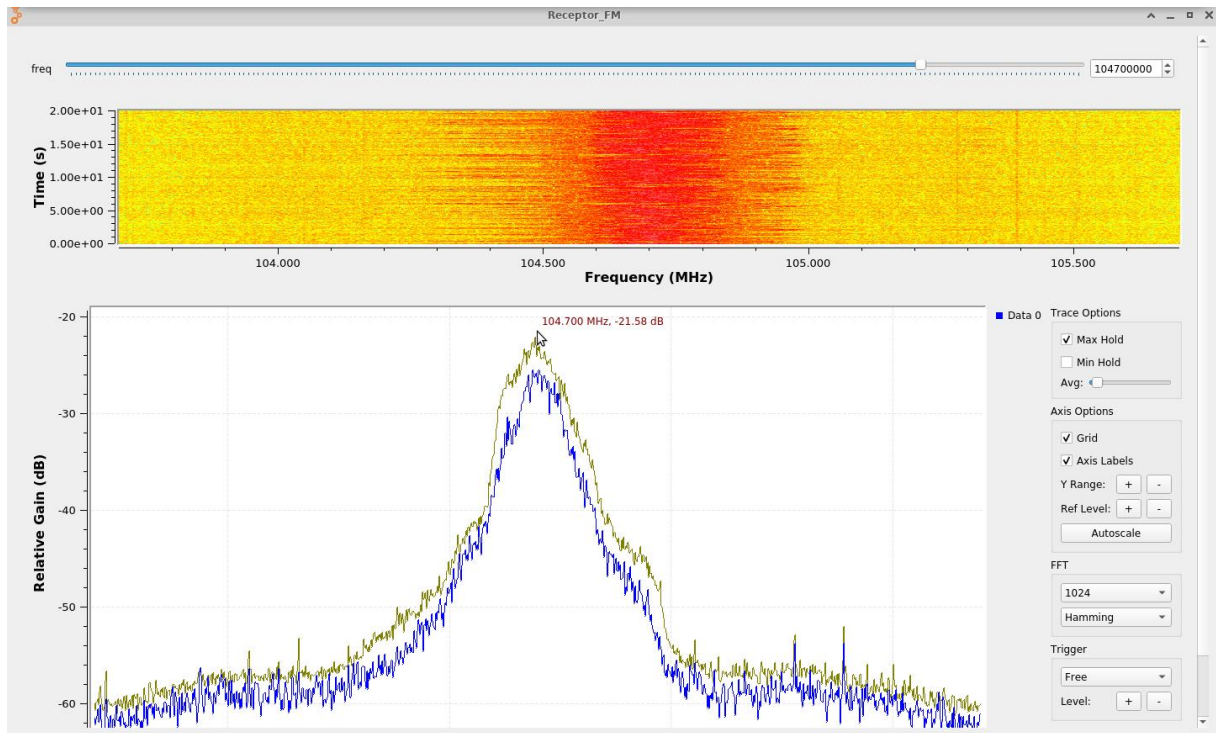
Figura 25 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 91,1 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 26 a seguir, é apresentada a medição da frequência 104,7 MHz, rádio Jovem Palmas FM, com o RTL-SDR e a In X Plus.

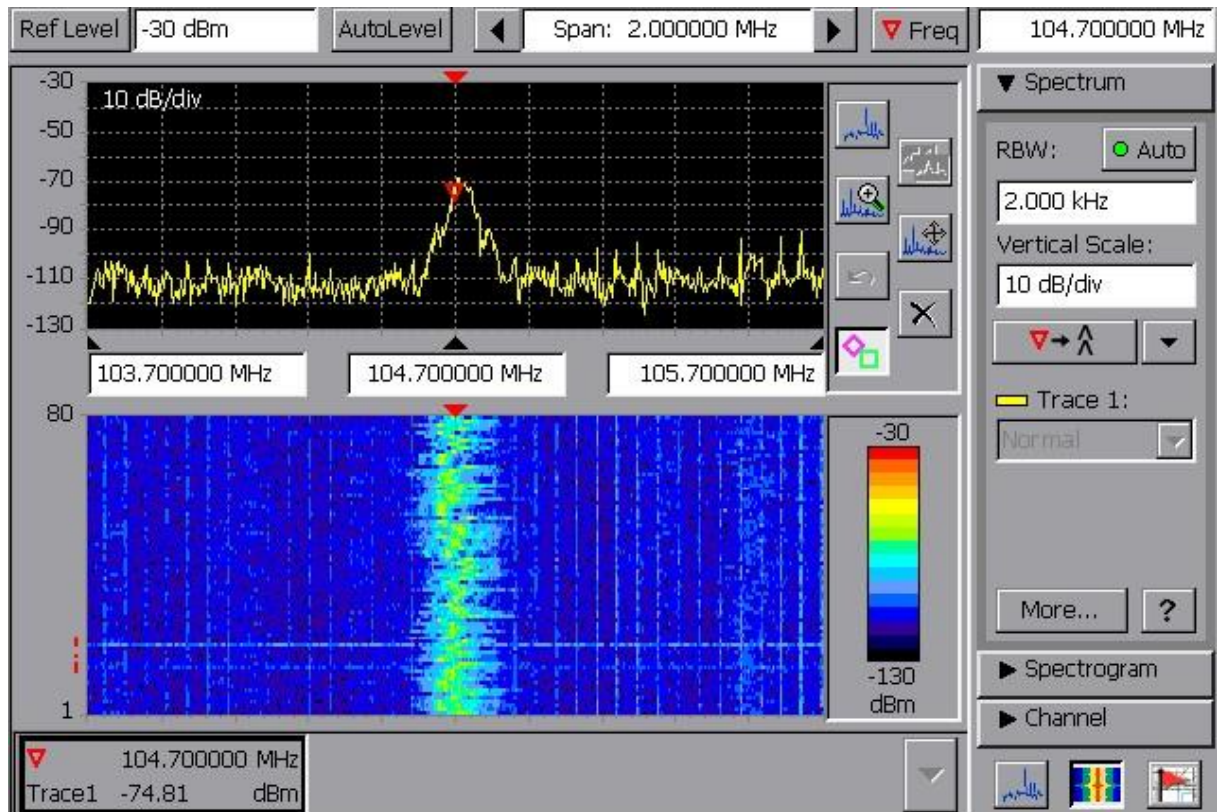
Figura 26 - Medida com RTL-SDR e Tv Box IN X Plus. Portadora em 104,7 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

Na Figura 27 a seguir, é apresentada a medição da frequência 104,7 MHz, rádio Jovem Palmas FM, com o Tektronix.

Figura 27 - Medida com Tektronix SA2500. Portadora em 104,7 MHz.



Fonte: Acervo do Autor.

### 7.3 Análise

Ao iniciar a análise, um dos primeiros aspectos observados foram os ruídos pronunciados nas medições com o RTL-SDR. Apesar dessa interferência, destaca-se a notável similaridade na configuração das portadoras moduladas com as observadas no Tektronix, evidenciando uma coerência nos resultados obtidos.

Apesar da presença significativa de ruídos no SDR, é importante ressaltar que estes não comprometeram a identificação das emissões. Em todas as transmissões, a demodulação bem-sucedida permitiu a clara audição da programação de cada emissora, indicando a eficácia do método adotado.

No que tange à largura de banda ocupada pelo sinal, observou-se que, para este experimento, a análise através do gráfico de *waterfall* foi a abordagem mais adequada, haja

vista que a largura da portadora no gráfico do domínio da frequência, não condiz com o observado no Tektronix. Analisando o gráfico de *waterfall*, notou-se uma semelhança considerável em relação à medida realizada com o analisador profissional, de modo que os valores inferidos são da mesma ordem de grandeza dos valores das medições percebidos no Tektronix, ainda que o RTL-SDR não possua níveis de precisão semelhantes.

Ao examinar o nível do sinal obtido com o SDR, destacam-se sinais proeminentes significativamente acima do piso de ruído, indicando a presença de portadoras naquelas frequências. Esta observação foi corroborada pela demodulação e subsequente escuta da programação transmitida, destacando a utilidade do RTL-SDR em contextos específicos, mesmo diante de suas limitações intrínsecas.

#### 7.4 Dificuldades experimentadas

- Inicialmente, houve uma dificuldade em encontrar uma versão de Armbian que funcionasse nas Tv Boxes testadas, haja vista que o projeto Armbian foca em equipamentos com processadores específicos, com arquitetura ARM, como os da família *Amlogic*, *Rockchip*, dentre outros. Assim, não há um sistema operacional específico para os equipamentos deste projeto;
- Em relação ao GNU Radio Companion, as dificuldades observadas foram as relacionadas à documentação dos blocos, quais parâmetros deveriam ser preenchidos, quais os valores mais adequados para a consecução dos objetivos. Assim, muitos dos valores utilizados no diagrama final foram experimentais;
- Em relação à descaracterização da Tv Box H7, não foi encontrada nenhuma ferramenta disponível para limpar a memória interna do equipamento sem inutilizá-lo. Também não foi possível instalar o sistema operacional Armbian. O experimento conduzido com esse modelo consistiu na execução do sistema a partir do pendrive.
- Foi necessário utilizar duas versões diferentes do *GNU Radio Companion*, haja vista que a versão 3.10.1.1, não funcionou na IN X Plus, que rodou a versão 3.8.1. Além disso, só foi possível executar o fluxograma na H7 através do código Python gerado em outro computador, pois não foi possível rodar o GRC diretamente nela.

## 8 CONCLUSÕES FINAIS

Para este projeto foram testados 2 modelos de Tv Box, com a expectativa inicial de descaracterizar ambos, limpar suas memórias internas, substituindo o programa original de cada um — que dá acesso a conteúdos protegidos por direitos autorais — por uma versão do sistema operacional Armbian.

Entretanto, após a conclusão do experimento, não foi possível descaracterizar a Tv Box H7, da hTV, e todas as tentativas resultaram na inutilização desse modelo. Assim, optou-se por prosseguir com os testes com a H7, rodando uma versão de Armbian a partir de um *pendrive* inserido na porta USB do equipamento.

Em relação ao modelo In X Plus, com *chipset Rockchip*, obteve-se sucesso em sua descaracterização, sendo possível instalar e operar uma versão de Armbian diretamente em sua memória interna. Isso forneceu uma alternativa ao descarte, com destaque ao aspecto ambiental.

Ficou evidenciada neste estudo a eficácia do uso do RTL-SDR em conjunto com os modelos de Tv Boxes utilizados e a ferramenta gráfica GNU Radio Companion para a aplicação específica proposta. O experimento produziu resultados satisfatórios, alinhados com o objetivo inicial de monitorar emissoras de FM comercial e analisar o espectro de radiofrequências.

Ao utilizar a ferramenta gráfica GNU Radio Companion, pode-se gerar, rapidamente, códigos para rádios definidos por software sem a necessidade de escrever seu código fonte ou mesmo montar o hardware por meio de circuitos analógicos, que implementem um receptor FM. Cada projeto é um gráfico de fluxo composto por blocos que podem representar diferentes funções de processamento digital de sinal.

O desempenho do RTL-SDR, embora não seja passível de comparação direta com um analisador de espectro profissional, atendeu às expectativas e aos objetivos propostos neste estudo. A presença de ruídos, embora perceptível, não comprometeu a identificação das emissões de radiofrequência. A similaridade entre os espectros capturados pelo RTL-SDR e pelo analisador profissional valida, na prática, a utilidade do RTL-SDR em contextos específicos.

O custo acessível do RTL-SDR é um fator de destaque, e o torna uma opção viável para instituições de ensino e entusiastas que buscam uma alternativa econômica para atividades de monitoramento de radiofrequências. Assim, sua aplicabilidade potencial como ferramenta de ensino e pesquisa é digna de consideração.

Como sugestão de trabalhos futuros, destacam-se os seguintes tópicos:

- Calibrar o RTL-SDR em função de um analisador de espectro profissional;
- Instalar uma versão *Server* (servidor) sem interface gráfica, a fim de otimizar o desempenho da Tv Box e usá-la com o RTL-SDR para monitoramento contínuo do espectro, salvando os dados para serem processados em outro hardware de melhor desempenho;
- Explorar outras faixas do espectro radioelétrico, considerando que o RTL-SDR possui uma faixa que vai até 1,7 GHz;
- Melhorar o desempenho do conjunto RTL-SRD e Tv Box, utilizando filtros físicos para atenuar os ruídos observados nas medições em campo. Utilizar também amplificadores de baixo ruído e outros equipamentos, além de explorar de maneira mais profunda as possibilidades do *GNU Radio Companion*;
- Avaliar a possibilidade de implementar medidas de campo elétrico em dB $\mu$ V/m com o RTL-SDR.

## REFERÊNCIAS

- AJOO. **Intro to RTL-SDR, Part II - Software**, 2017. Disponível em: <https://ajoo-github-blog-old.pages.dev/> Acesso em: 17 out. 2023.
- AMLOGIC. **Amlogic**, 2023. Disponível em: <https://www.amlogic.com> Acesso em: 24 set. 2023.
- APPLE. **TV box homologada**, 2023. Disponível em: <https://www.apple.com/br/tv-home/> Acesso em: 22 mai. 2023.
- ARMBIAN. **CSC Armbian for RK322X TV Boxes**, 2020. Disponível em: <https://forum.armbian.com/topic/12656-csc-armbian-for-rk322x-tv-boxes/> Acesso em: 24 set. 2023.
- \_\_\_\_\_. **/dl/aml-s9xx-box/archive/**, 2023. Disponível em: <https://armbian.chi.auroradev.org/dl/aml-s9xx-box/archive/> Acesso em: 05 out. 2023.
- \_\_\_\_\_. **Imagens.iso.Arbman**, 2022. Disponível em: <https://users.armbian.com/jock/rk322x/armbian/stable/> Acesso em: 02 out. 2023.
- \_\_\_\_\_. **Index of /archive/rk322x-box/archive/**, 2021. Disponível em: <https://armbian.hosthatch.com/archive/rk322x-box/archive/> Acesso em: 13 out. 2023.
- \_\_\_\_\_. **Installation Instructions for TV Boxes with Amlogic CPUs**, 2023. Disponível em: <https://forum.armbian.com/topic/17106-installation-instructions-for-tv-boxes-with-amlogic-cpus/> Acesso em: 17 set. 2023.
- \_\_\_\_\_. **Old image for Amlogic s905x3?** 2021. Disponível em: <https://forum.armbian.com/topic/19105-old-image-for-amlogic-s905x3/> Acesso em: 24 set. 2023.
- BALENA. **Flash. Flawless**, 2023. Disponível em: <https://etcher.balena.io/> Acesso em: 30 set. 2023.
- BRAINLY. **Qual é a cor dos objetos na ausência da luz?** 2015. Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/3675694> Acesso em: 12 ago. 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. **INFORME Nº 4/2021/FIGF4/FIGF/SFI**, 2021. Disponível em: [http://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md\\_pesq\\_documento\\_consulta\\_externa.php?eEPwqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw\\_9INcO5PKr37An4NSs6sd1c9IPofluH3eyRwywlgZFvUh-qW-f-MR8ln0HwABi8MWbOkspZajukWXFCisvs8oBuJmvd](http://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEPwqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw_9INcO5PKr37An4NSs6sd1c9IPofluH3eyRwywlgZFvUh-qW-f-MR8ln0HwABi8MWbOkspZajukWXFCisvs8oBuJmvd) Acesso em: 24 abr. 2023.
- \_\_\_\_\_. **Fiscalização**, 2020. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/fiscalizacao> Acesso em: 14 abr. 2023.

\_\_\_\_\_. **Riscos ao utilizar equipamentos piratas**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/fiscalizacao/combate-a-pirataria/riscos-ao-utilizar-equipamentos-piratas> Acesso em: 18 mai. 2023.

\_\_\_\_\_. Ministério das Comunicações. Agência Nacional de Telecomunicações. **Certificação de produtos**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/certificacao> Acesso em: 12 abr. 2023.

CARVALHO, Rogério Muniz. **Comunicações analógicas e digitais**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

COSTA, Maxwell Moura. **Medição de velocidade de vento utilizando transdutores ultrassônicos baseada na Transformada de Fourier**. Tese. Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Paraíba, 2015.

DINIZ, Priscila Crisfir A; FERREIRA, Paulo Victor R.; ROCHA, Gustavo N; VEIGA, Antônio C. P. **Analizador de espectro para equipar laboratórios de telecomunicações a baixo custo utilizando rádio definido por software - transmissor WBFM estéreo prático**. In: X CEEL. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, 2012.

EMBARCADOS. **Webinar: Desmistificando Device Tree para processadores NXP i.MX**, 2017. Disponível em: <https://embarcados.com.br/webinar-desmistificando-device-tree-toradex/> Acesso em: 10 set. 2023.

FRENZEL JR, Louis E. **Principles of electronic communication systems**. Editora: McGraw Hill; 4ª edição. 2015.

GITHUB. **Armbian Community**, 2023. Disponível em: <https://github.com/armbian/community> Acesso em: 15 out. 2023.

INXPLUS. **TV BOX**, 2023. Disponível em: <https://inxplusoficial.com/> Acesso em: 24 set. 2023.

ITU. **About International Telecommunication Union (ITU)**, 2023. Disponível em: <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx> Acesso em: 10 mai. 2023.

\_\_\_\_\_. **Handbook spectrum monitoring**, 2011. Disponível em: [file:///D:/Downloads/R-HDB-23-2011-PDF-E%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/R-HDB-23-2011-PDF-E%20(1).pdf) Acesso em: 22 fev. 2023.

HTV. **Site oficial hTV**, 2023. Disponível em: <https://www.htv-brasil.com/> Acesso em: 04 jun. 2023.

KEYSIGHT. **Application Note 150**, 2023. Disponível em: [https://www.keysight.com/br/pt/assets/7018-06714/application-notes/5952\\_0292.pdf](https://www.keysight.com/br/pt/assets/7018-06714/application-notes/5952_0292.pdf). Acesso em: 22 mai. 2023.

LAUFER Carl. **The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio (English Edition)**. 2014.

LATHI, B.P. **Sinais e sistemas lineares**. Tradução Gustavo Guimarães Parma. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LIMA, Mauro Vieira de. **Medição de ocupação espectral e estudo das oportunidades de espectro para uso de sistemas rádio cognitivo**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

NASA. **Espectro eletromagnético**, 2023. Disponível em: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/spectrum\\_graphic\\_web\\_updated.png](https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/spectrum_graphic_web_updated.png) Acesso em: 04 fev. 2023.

NASA. **Radio Spectrum**, 2023. Disponível em: [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/radio\\_spectrum/](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/spectrum/radio_spectrum/) Acesso em: 10 mai. 2023.

OLHAR DIGITAL. **Por que é difícil resolver a crise global dos chips semicondutores?** 2021. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/04/20/pro/crise-global-dos-chips-semicondutores/> Acesso em: 20 ago. 2023.

OPEN SOURCE MOBILE COMMUNICATIONS. **RTL-SDR**, 2023. Disponível em: <https://osmocom.org/projects/rtl-sdr/wiki/Rtl-sdr> Acesso em: 10 mai. 2023.

OPPENHEIM, Alan V; WILLSKY, Alan S; NAWAB, Hamid S. **Sinais e sistemas**. Tradução: Daniel Vieira. São Paulo: Person Prentice Hall, 2010.

OROFINO, Gabriel Bach Amaral. **Implementação de um analisador de espectro utilizando o conceito rádio definido por software (sdr)**. Projeto Final do Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2017.

OSMOCOM. **rtl-sdr**, 2023. Disponível em: <https://osmocom.org/projects/rtl-sdr/wiki>. Acesso em: 12 set. 2023.

PE1ITR. **Power Measurement with GNU Radio**, 2020. Disponível em: <http://pe1itr.com/general/power-gnuradio.htm>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PORTAL DE TELECOMUNICAÇÕES, INTERNET E TICS – TELE-SÍNTESE. **Anatel identificou malware na TV Box pirata mais vendida do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/anatel-identificou-malware-na-tv-box-pirata-mais-vendida-do-brasil> Acesso em: 23 mai. 2023.

PROJETO GNU RADIO. **Sobre o Rádio GNU**, 2023. Disponível em: <https://www.gnuradio.org/about/> Acesso em: 16 mar. 2023.

RE-WS.PL. **[Import]Using GNU Radio Companion – simple FM radio tutorial**, 2017. Disponível em: <https://re-ws.pl/2017/09/importusing-gnu-radio-companion-simple-fm-radio-tutorial/> Acesso em: 20 out.2023.

ROCK-CHIPS. **AndroidTool**, 2018. Disponível em: <http://opensource.rock->

[chips.com/wiki\\_AndroidTool](https://chips.com/wiki_AndroidTool) Acesso em: 13 out. 2023.

\_\_\_\_\_. **Products**, 2023. Disponível em: <https://www.rock-chips.com/a/en/> Acesso em: 22 out. 2023.

ROHDE & SCHWARZ. **Analizador de espectro**, 2023. Disponível em: [https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/analisadores-de-bancada/rs-fsc\\_63493-10891.html](https://www.rohde-schwarz.com/br/produtos/teste-e-medicao/analisadores-de-bancada/rs-fsc_63493-10891.html) Acesso em: 22 mai. 2023.

RTL-SDR. **ABOUT RTL-SDR**, 2023. Disponível em: <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr> Acesso em: 23 mai. 2023.

\_\_\_\_\_. **RTL-SDR Blog V3 Datasheet**, 2023. Disponível em: <https://www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2018/02/RTL-SDR-Blog-V3-Datasheet.pdf> Acesso em: 6 mai. 2023.

SILVA, Cláudio Alves da. **Analizador de espectro de baixo custo com frequência de operação entre 2 e 3GHz**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA. Área Departamental de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores. Lisboa, 2012.

STACKOVERFLOW. **How to Calculate power spectral density using USRP data?**\_2016. Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/40523362/how-to-calculate-power-spectral-density-using-usrp-data> Acesso em: 12 set. 2023.

STAR HOME. 2023. **TV box não homologada**, 2023. Disponível em: [https://www.starhome.vip/index.php?route=product/product&product\\_id=52&qudao=GGHA](https://www.starhome.vip/index.php?route=product/product&product_id=52&qudao=GGHA) Acesso em: 22 mai. 2023.

WIKI. **Your First Flowgraph**, 2023. Disponível em: [https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Your\\_First\\_Flowgraph](https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Your_First_Flowgraph) Acesso em: 20 mai. 2023.

## APÊNDICE A — Descaracterização da Tv Box H7 e In X Plus

O processo de descaracterização consistiu na tentativa de limpar a memória interna da Tv Box, apagando o firmware que acompanha o aparelho e que permite acesso aos conteúdos protegidos por direitos autorais.

### A.1 — In X Plus:

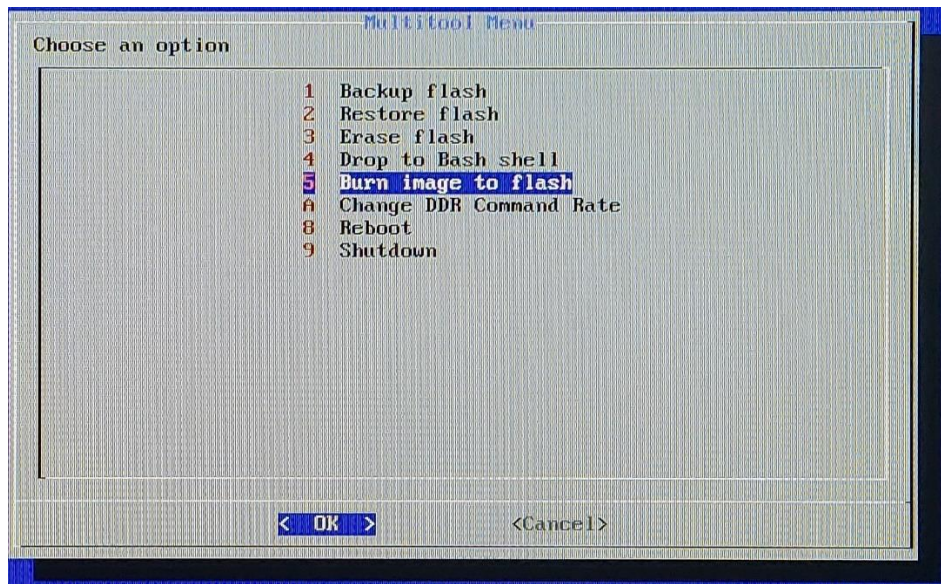
Para a descaracterização da In X Plus foram utilizados os *softwares* Balena Etcher e Multitool.

Com um cartão MicroSd de 64 GB inserido no *notebook* Acer, iniciou-se a criação da mídia de inicialização utilizando a imagem do *software* Multitool. Após a finalização desse processo foram criadas 3 partições primárias, sendo necessário acessar a partição MULTITOOL. Nesta partição há uma pasta chamada “imagem” dentro da qual foi colocada a imagem .ISO da versão Armbian escolhida.

Foram testadas várias imagens .ISO disponibilizadas no fórum oficial do Armbian. A versão escolhida foi a “22.02.0\_trunk\_Rk322x\_box\_focal\_legacy\_4.4.194\_xfce\_desktop”, por apresentar melhor desempenho na execução dos programas necessários à consecução dos objetivos.

O próximo passo foi colocar o cartão MicroSD na In X Plus com ela desligada. Ao plugar o cabo de energia no equipamento o sistema Multitool foi inicializado. Foi escolhida a opção “exit” na tela inicial do sistema, e em seguida foi apresentada a tela de menu. Na Figura 28 a seguir, é apresentada a tela de menu da ferramenta.

Figura 28 - Tela de menu da ferramenta Multitool.



Fonte: Acervo do Autor.

Foi escolhida a opção 5, que se trata de instalar a imagem “.iso” do Armbian diretamente na memória flash interna do equipamento. Após a escolha dessa opção, bastou confirmar as janelas seguintes até iniciar o processo de instalação.

Após a conclusão da instalação do Armbian, a In X Plus foi desligada, o cartão MicroSD foi retirado e o equipamento ligado novamente. Com isso, o sistema operacional inicializou, foram realizadas as configurações iniciais como definição de senha de *root* e usuário, escolha da *Shell* “Bash” (sistema padrão de comando), e em seguida teve-se acesso à interface gráfica do sistema, conforme Figura 29, a seguir.

Figura 29 - Área de trabalho do Armbian.



Fonte: Acervo do autor.

Com o Armbian devidamente instalado, o próximo passo foi conectar o equipamento à internet e executar as atualizações do sistema e instalação dos aplicativos com os comandos e na ordem a seguir, via terminal:

- ❖ `sudo apt update`
- ❖ `sudo apt upgrade`
- ❖ `sudo apt install rtl-sdr`
- ❖ `sudo apt-get install gnuradio`
- ❖ `sudo apt install gqrx-sdr`
- ❖ `sudo apt-get install gr-osmosdr`
- ❖ `sudo apt-get install osmo-sdr`
- ❖ `sudo apt-get install gr-fosphor`

É importante informar que, apesar do equipamento ter hardware para rede sem fio, só foi possível conectar à internet por meio de cabo pelo padrão *Ethernet*.

#### A.2 — H7, marca hTV:

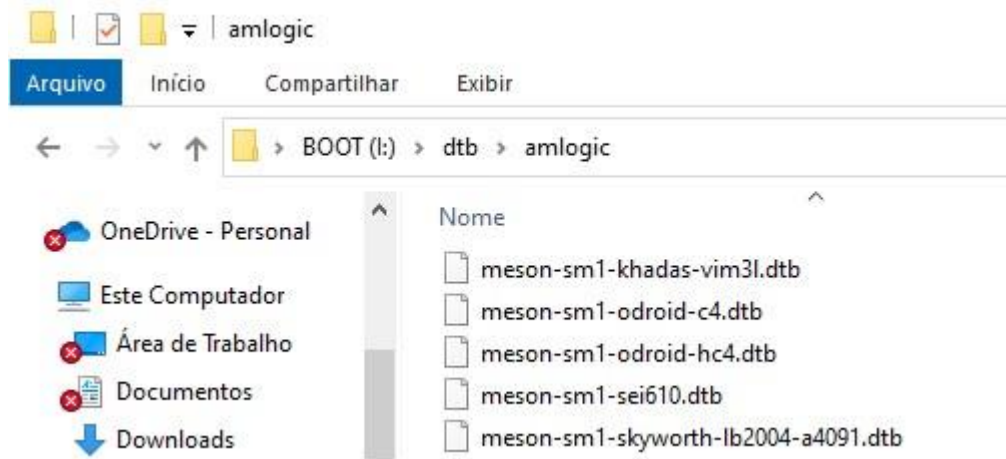
Para a criação da mídia de inicialização foi utilizado o Balena Etcher, a imagem “.iso” do Armbian escolhida, e um pendrive de 16 GB. Primeiramente, é importante informar que todo o processo de tentativa de descaracterizar a H7 requer um pouco mais de atenção do que com o equipamento anterior. A mídia foi criada diretamente com a imagem “.iso” “Armbian\_23.08.0\_amlogic\_s905x3\_jammy\_5.15.123\_server\_2023.08.01”, que está disponível no fórum oficial do Armbian, entretanto não foi encontrada nenhuma versão com interface gráfica, sendo apenas a versão *Server* (Servidor), em que a sua utilização se dá apenas por linhas de comandos.

Após o Balena Etcher finalizar o processo de criação da mídia, foram criadas 2 partições primárias. Em ambiente Windows, foi necessário acessar a partição *BOOT*, dentro da qual há 2 pastas: “dtb” e “extlinux”. Dentro da pasta “dtb” foi acessada a pasta “Amlogic”, na qual constam vários arquivos .dtb, onde um deve ser escolhido de acordo com o modelo e características da Tv Box utilizada.

Como não existe um arquivo .dtb específico para a H7, foram escolhidas algumas opções, levando em consideração, principalmente, o processador S905x3. Após alguns testes, observou-se que o arquivo que proporcionou o funcionamento do sistema foi “meson-sm1-

sei610.dtb”. Na Figura 30 a seguir, é mostrada a pasta “Amlogic”.

Figura 30 - Conteúdo da pasta “Amlogic”.



**Fonte:** Acervo do Autor.

Arquivos com extensão .dtb (*device tree blob*) são necessários para que o kernel (núcleo) do sistema operacional consiga identificar a topologia de *hardware*, carregar os drivers correspondentes e inicializar o sistema (Embarcados, 2017).

Ao definir o arquivo “.dtb” utilizado, o próximo passo foi alterar o código do arquivo “extlinux.conf” localizado dentro da pasta “extlinux”. O arquivo foi aberto no Wordpad e toda a linha “FDT /dtb/amlogic/arquivo.dtb” foi alterada para “FDT /dtb/amlogic/meson-sm1-sei610.dtb”, e sem o símbolo de comentário “#”. Na figura 31 a seguir, é apresentada a linha de código alterada dentro do arquivo “extlinux.conf”.

Figura 31 - Linha de código alterada dentro do arquivo “extlinux.conf”.

```

LABEL Armbian
LINUX /Image
INITRD /uInitrd

#FDT /dtb/amlogic/meson-gxbb-p200.dtb
#FDT /dtb/amlogic/meson-gxl-s905x-p212.dtb
FDT /dtb/amlogic/meson-sm1-sei610.dtb
#FDT /dtb/amlogic/meson-gxm-q200.dtb
#FDT /dtb/amlogic/meson-g12a-x96-max.dtb
#FDT /dtb/amlogic/meson-g12b-odroid-n2.dtb

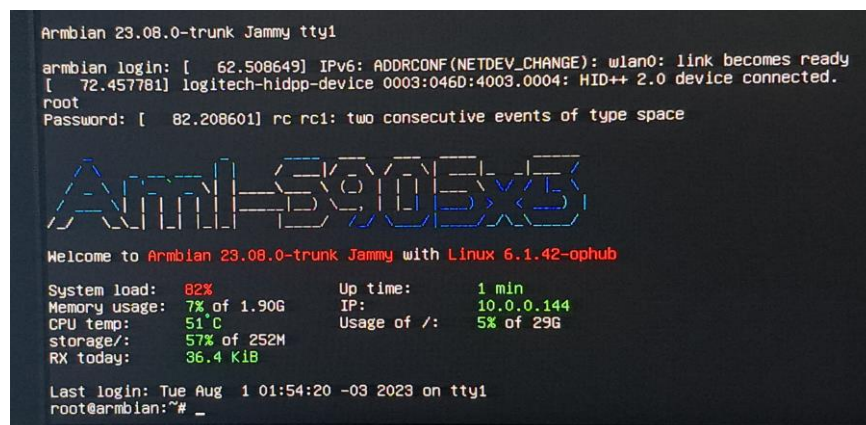
append root=UUID=59d0e9ab-ff9a-43f7-8841-e8f5956645c0
rootflags=data=writeback console=ttyAML0,115200n8 console=tty0
rw no_console_suspend consoleblank=0 fsck.fix=yes
fsck.repair=yes net.ifnames=0 splash plymouth.ignore-serial-
consoles

```

**Fonte:** Acervo do Autor.

Como próximo passo, o *pendrive* foi plugado na porta USB 3.0 da H7 desligada. Antes de ligar novamente o equipamento foi necessário pressionar o botão de reset localizado na parte de baixo da Tv Box. O equipamento foi ligado com o botão ainda pressionado e, após 10 segundos, aproximadamente, a H7 reconheceu o Armbian e iniciou todo o processo de configuração do sistema operacional, e neste momento o botão de *reset* foi liberado. Foram realizadas as configurações iniciais como definição de senha de *root* e usuário, escolha da *Shell* “Bash” (sistema padrão de comando), e em seguida teve-se acesso à linha de comandos. É importante frisar que o sistema estava rodando diretamente pelo *pendrive*, mantendo o *firmware* original inalterado. Na Figura 32, a seguir é mostrada a tela após instalação do Armbian, pronto para receber comandos.

Figura 32 - Tela do Armbian pronto para receber comandos.



```

Armbian 23.08.0-trunk Jammy tty1
armbian login: [ 62.508649] IPv6: ADDRCONF(NETDEV_CHANGE): wlan0: link becomes ready
[ 72.457781] logitech-hidpp-device 0003:046D:4003.0004: HID++ 2.0 device connected.
root
Password: [ 82.208601] rc rc1: two consecutive events of type space

  Armbian 23.08.0-trunk Jammy with Linux 6.1.42-ophub

Welcome to Armbian 23.08.0-trunk Jammy with Linux 6.1.42-ophub

System load: 82%      Up time: 1 min
Memory usage: 7% of 1.90G  IP: 10.0.0.144
CPU temp: 51°C      Usage of /: 5% of 29G
Storage/: 57% of 252M
RX today: 36.4 KiB

Last login: Tue Aug 1 01:54:20 -03 2023 on tty1
root@armbian:~# _

```

**Fonte:** Acervo do Autor.

Em seguida foi realizada a tentativa de instalar o Armbian diretamente na memória interna da H7, entretanto não foi encontrada nenhuma ferramenta para gravar o conteúdo do *pendrive* na memória interna. Partiu-se, então, para a possibilidade de apagar o *firmware* original utilizando o software *USB Burning Tool*, marcando a opção de apagar a memória *flash*, mas mantendo intacta a partição que executa a inicialização do equipamento.

Entretanto, após apagar a memória *flash*, não foi possível inicializar o equipamento mesmo com o Armbian instalado no *pendrive*. Com isso, o equipamento ficou inutilizado, não sendo possível descaracterizá-lo. Foram realizadas duas tentativas com duas unidades de H7.

Todo o experimento com a H7 foi realizado rodando Armbian pelo *pendrive*, e ao retirá-lo do equipamento, ele volta a funcionar como acesso não autorizado a canais de conteúdos pagos.

Por ser uma versão Servidor, foi necessário instalar uma interface gráfica que, ao menos, simulasse um ambiente de *desktop*. Antes de iniciar a instalação desse ambiente, o equipamento foi conectado à internet, e os mesmos comandos elencados no item 4.2.1 do presente trabalho foram executados. A conexão da H7 à *internet* deu-se pela rede *wi-fi*, e observou-se que a conexão cabeada *Ethernet* não funciona nesse equipamento rodando Armbian.

Para instalação do ambiente de *desktop*, foi escolhido um ambiente de trabalho e um gerenciador de exibição. O ambiente escolhido foi o XFCE por ser mais leve que outras opções encontradas. Para essa instalação foi executado o seguinte comando na janela de terminal:

❖ `sudo apt-get install xfce4-session xfce4-goodies`

O Gerenciador de exibição escolhido, necessário para realizar o *login* no sistema, foi o Slim. Para instalá-lo, foi executado o seguinte comando:

❖ `sudo apt install slim`