



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

RADIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE (SDR) E SUAS APLICAÇÕES.

David Julián Molano Peralta

Mestrado em:

Engenharia e Tecnologia Espaciais.

Área de Concentração:

Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

Orientação:

Walter Abrahão dos Santos.

Douglas Soares dos Santos.

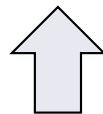
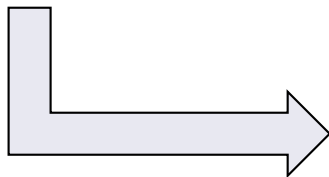
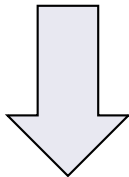


Sumario.

- Introdução.
- Motivação para usar a tecnologia SDR.
- Radio Definido por Software (SDR).
- Aplicações com SDR.
 - Aquisição de imagens dos satélites NOAA.
 - Decodificação de telemetrias com SDR.
 - Decodificação de telemetrias com GNURadio.
 - Ambiente de desenvolvimento GNURadio.
- Conclusões.

Introdução.

- Aumento significativo no número de projetos relativos a pequenos satélites educacionais. (Cubesats).



Motivação para usar a tecnologia SDR.

- A principal motivação para empregar componentes SDR de estações em terra para pequenos satélites é melhorar o desempenho e a aquisição de dados dos satélites, **bem como reduzir o custo de desenvolvimento e implementação de estações terrestres.**
- O uso de SDR em rádio amador deveu-se principalmente ao baixo custo e à atual disponibilidade de sua tecnologia.



Radio Definido por Software (SDR).

O que é?

- Rádio em que algumas ou todas as funções da camada física são definidas por software.
- Tecnologia que usa o computador, um receptor especial e um software que faz o papel das partes principais do receptor (misturador, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc.) para ouvir emissões de rádio, TV e praticamente quase todos modos de transmissão, seja digital ou analógico.



Radio convencional.

Radio Definido por Software (SDR).

O que é?

- Rádio em que algumas ou todas as funções da camada física são definidas por software.
- Tecnologia que usa o computador, um receptor especial e um software que faz o papel das partes principais do receptor (misturador, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc.) para ouvir emissões de rádio, TV e praticamente quase todos modos de transmissão, seja digital ou analógico.



Radio convencional.

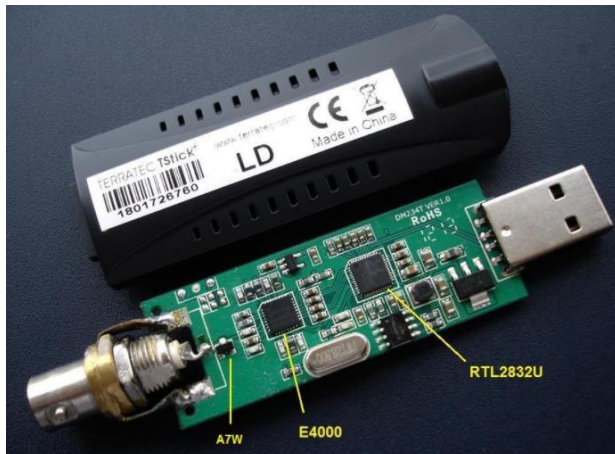
Radio Definido por Software (SDR).

O que é?

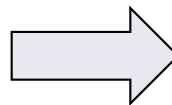
- Rádio em que algumas ou todas as funções da camada física são definidas por software.
- Tecnologia que usa o computador, um receptor especial e um software que faz o papel das partes principais do receptor (misturador, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc.) para ouvir emissões de rádio, TV e praticamente quase todos modos de transmissão, seja digital ou analógico.



Radio convencional.



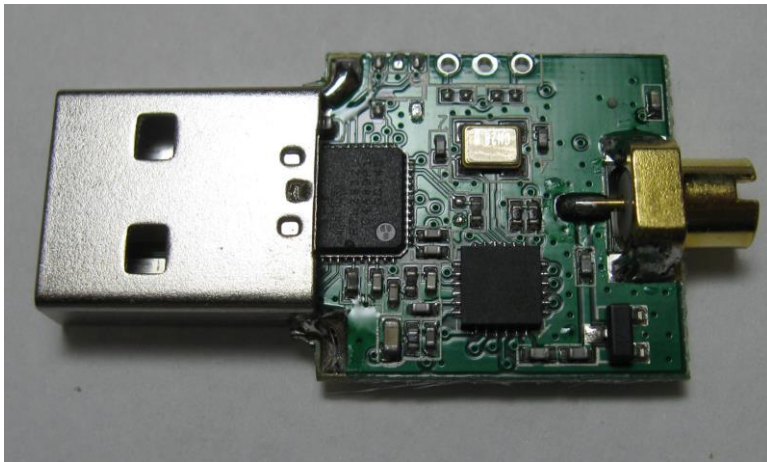
Placa de hardware SDR



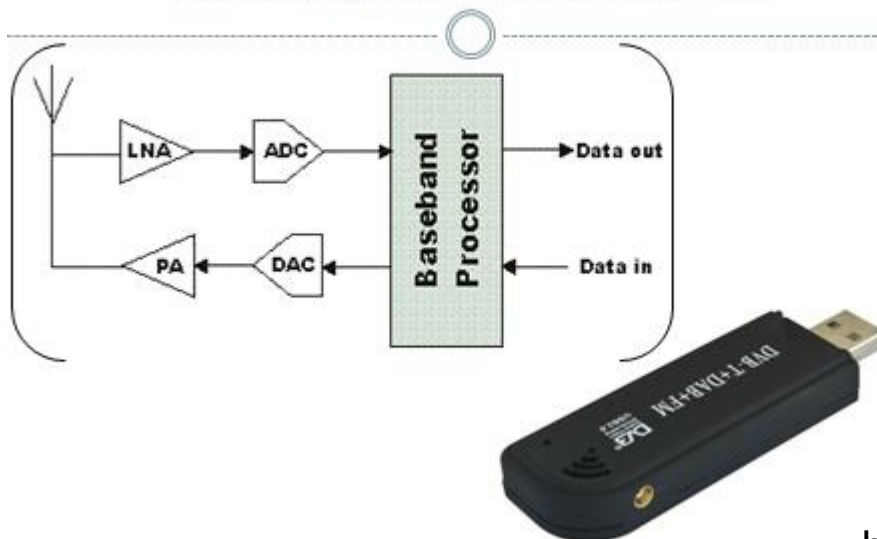
Software Radio.

Como funciona um Dongle SDR?

<http://wiki.spench.net/wiki/Presentations>



Block diagram of an ideal SDR



<https://ferrancasanovas.wordpress.com/2013/09/>

What is RTL-SDR?-YouTube



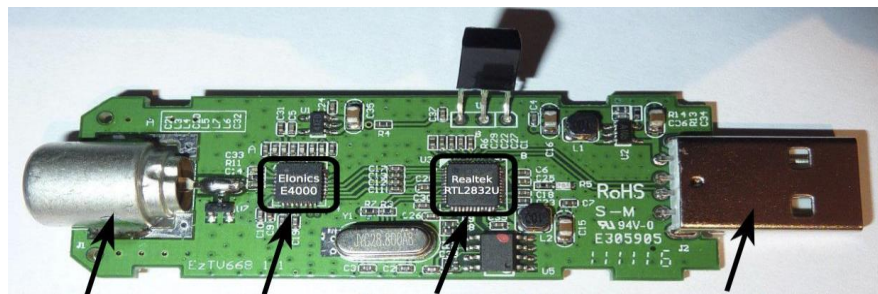
<https://www.youtube.com/watch?v=exdr3RvkbOY>

Listen To Almost All Radio Frequencies for \$20 | RTL SDR Dongle



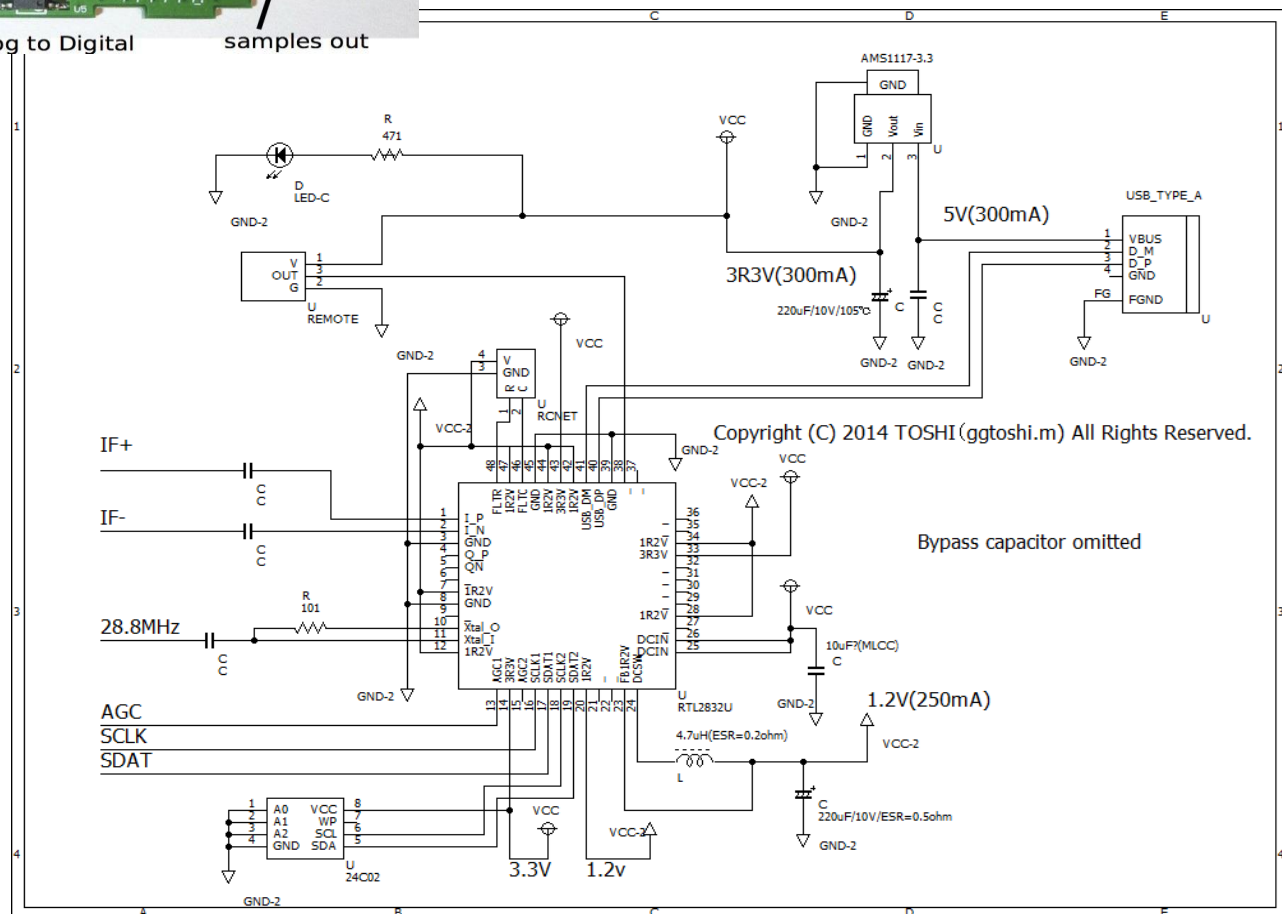
https://www.youtube.com/watch?v=L7RLJt4vZ_g

Schematic for the RTL-SDR dongle



<http://www.rtl-sdr.com/forum/viewtopic.php?f=1&t=265>

<https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee123/fa12/DVB-T.jpg>





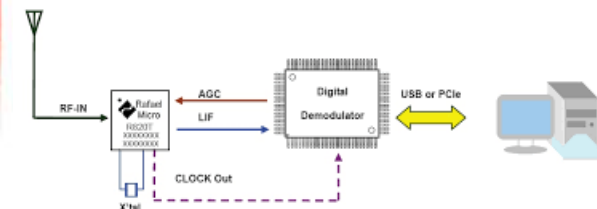
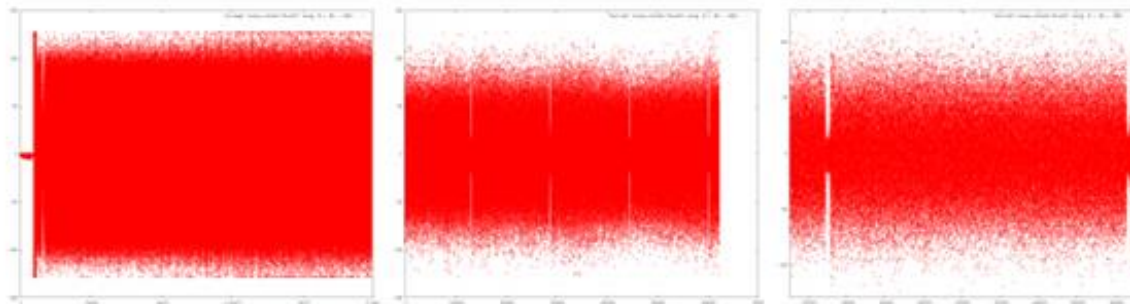
History and Discovery of RTLSDR

History and Discovery of RTLSDR

It turns out that Antti Palosaari is perhaps not entirely responsible alone in [getting credit](#) for the discovery of Realtek 2832U tuners being used for SDR. The RTL2832U parts were always **intended** by design for SDR as the dongles come with closed SDR software in Windows for DAB+ and FM reception on the mini CD. I think the credit for uncovering of what the Windows software does lies with a fellow named [Eric Fry](#) originally sniffing the USB packets from the Windows application in FM and DAB mode way back in **March of 2010**. He had hoped to get a DAB+ or FM receiver working in Linux (he had originally been providing unofficial support for Linux and this [Quad Realtek DVB tuner](#)). Eric and I discussed this privately at length and I made some [reflections](#) about [this](#) SDR feature in 2011 on the linux-tv mailing lists and discussed SDR potential on the associated [#linux-tv IRC channel](#). Realtek had sent me some alpha FM SDR software for Linux with a promise of DAB+ to come. Antti's infamous [email](#) followed in early 2012. Very quickly the Realtek RTL2832U Linux driver and some independent work by [Osmocom](#) (who were making their own E4000 based SDR) collided and in RTL-SDR as we know it exploded onto the scene.

So, the original 'discovery' lies with Eric. Much of the work getting the RTL2832U and its associated tuners tamed in between then and now lies with Antti and Osmocom.

Here are some USB data dumps Eric took of his RTL dongle tuned to the FM band in April 2010.



http://rtlsdr.org/#history_and_discovery_of_rtlsdr

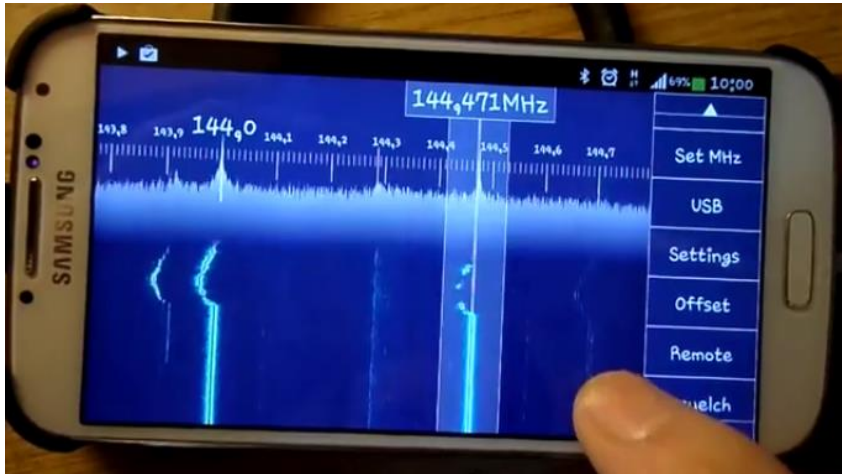
https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee123/fa12/rtl_sdr.html

<https://osmocom.org/projects/sdr/wiki/rtl-sdr>



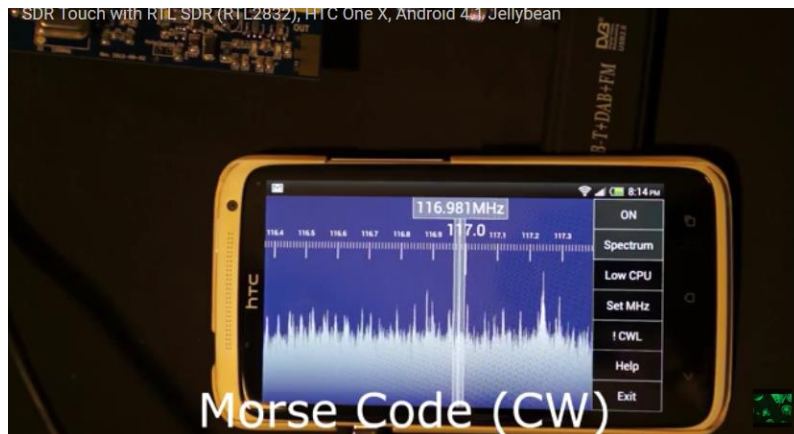
Getting Started with SDR Touch on Android

RTL2832U + Samsung galaxy s4 sdr touch



<https://www.youtube.com/watch?v=e5e6F3E58xM>

SDR Touch with RTL SDR (RTL2832), HTC One X, Android 4.1 Jellybean



<https://www.youtube.com/watch?v=QArle2hHO54>

Getting Started with SDR Touch on Android



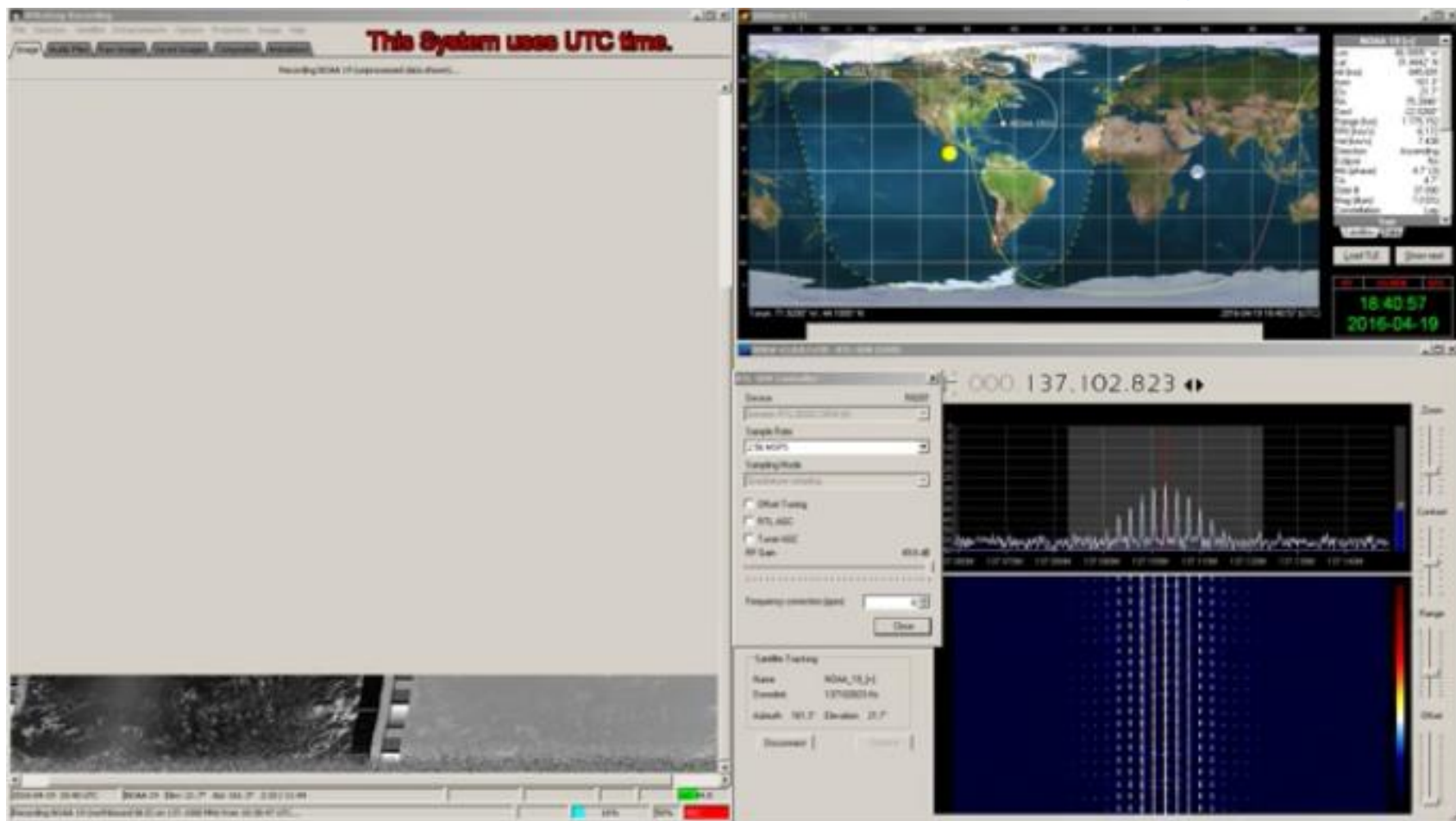
<http://sdr.martinmarinov.info/>

https://www.youtube.com/watch?v=d8PAQ_ZuFSQ

(SDR Touch) Turns your mobile phone or tablet into an affordable and portable software defined radio scanner. Allows you to listen to live on air FM radio stations, weather reports, police, fire department and emergency stations, taxi traffic, airplane communications, audio of analogue TV broadcasts, HAM radio amateurs, digital broadcasts and many more! Depending on the hardware used, its radio frequency coverage could span between 50 MHz and 2.2 GHz. It currently demodulates WFM, AM, NFM, USB, LSB, DSB, CWU and CLW signals.

<http://www.rtl-sdr.com/sdr-touch-brings-rtl-sdr-to-android/>

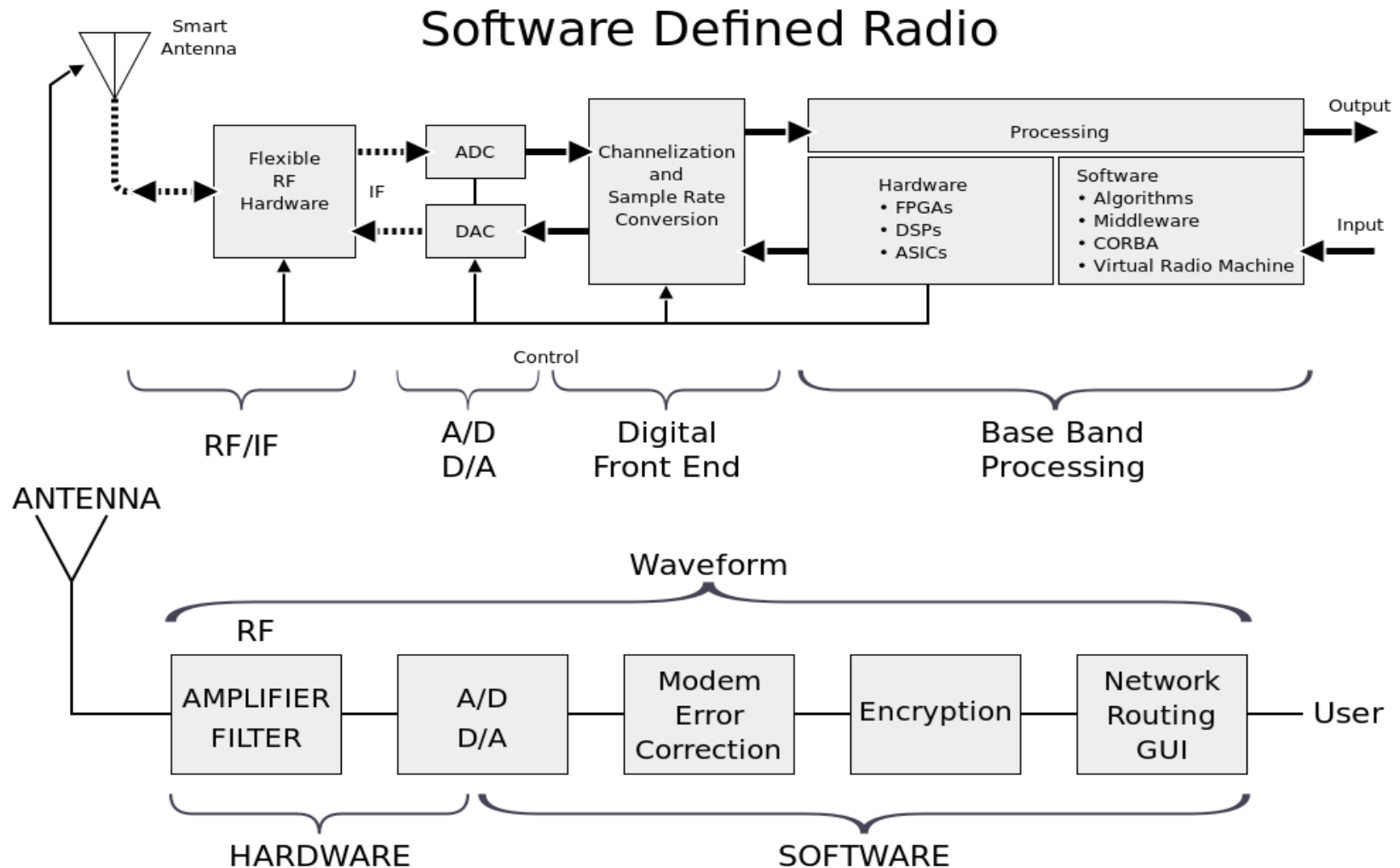
Live recording of NOAA 19 weather satellite via RTL-SDR



<https://www.youtube.com/watch?v=KZ6NaliHovY>



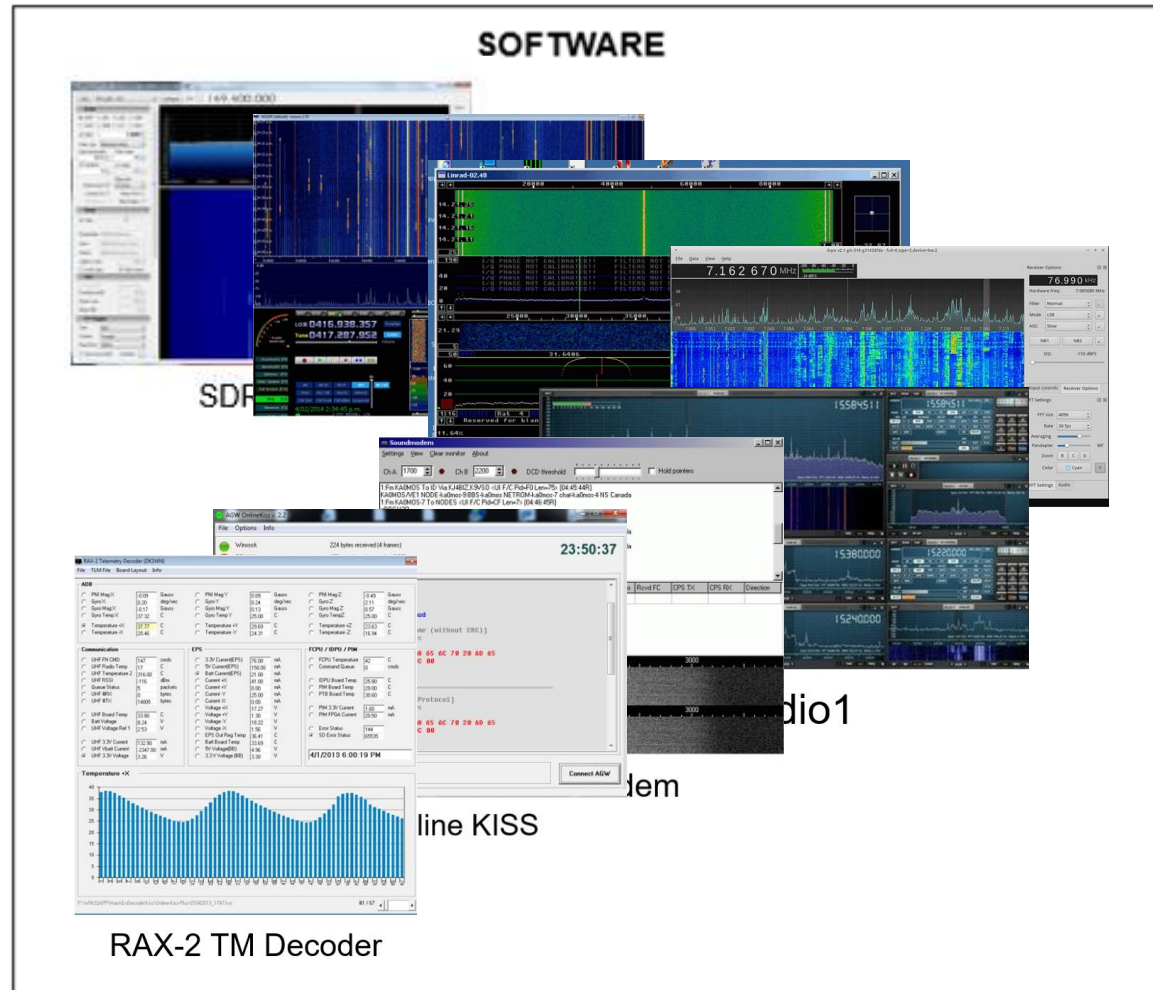
How Does it Work? Just like a regular radio, the antenna plugged into your computers captures the RF signals being broadcast. A regular radio then uses complex circuits to convert the data transmitted on that signal into audio that you hear. A SDR simply takes the raw signal and lets your computer handle the details. The block diagram below shows the components found in a typical SDR.



Aplicações com SDR.

Software feitos atualmente.

- Elemento de hardware e software, no mercado e na internet.



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Visão Geral.

- São satélites desenvolvidos pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos da América (USA) em cooperação com a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA).

■ Características Principais.

- ☐ Altura aproximada: 870 kms.
- ☐ Período da orbita: 102 min.
- ☐ Frequências de operação: 137 – 138 MHz
- ☐ Massa: 1400 – 1500 Kg.

■ Satélites em funcionamento.

- ☐ NOAA – 15.
- ☐ NOAA – 18.
- ☐ NOAA – 19.





Bandas de Frequências.

Estações para uso livre.

FAIXAS E FREQUÊNCIAS PARA RADIOAMADOR			
Banda	Faixa de Frequência	Faixas para Radioamador	
		De	Até
MF (Medium Frequency)	300 KHz a 3000 KHz	1.800 KHz	2.000 KHz
HF (High Frequency)	3 MHz a 30 MHz	3.500 KHz	3.800 KHz
		7.000 KHz	7.300 KHz
		10.100 KHz	10.150 KHz
		14.000 KHz	14.350 KHz
		18.068 KHz	18.168 KHz
		21.000 KHz	21.450 KHz
		24.890 KHz	24.999 KHz
		28.000 KHz	29.700 KHz
VHF (Very High Frequency)	30 MHz a 300 MHz	50 MHz	54 MHz
		134 MHz	148 MHz
		219 MHz	225 MHz
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz a 3000 MHz	420 MHz	450 MHz
		902 MHz	928 MHz
		2.300 MHz	2.450 MHz
SHF (Super High Frequency)	3 GHz a 30 GHz	3.300 MHz	3.500 MHz

Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Hardware necessário.

Funcube Dongle Pro Plus

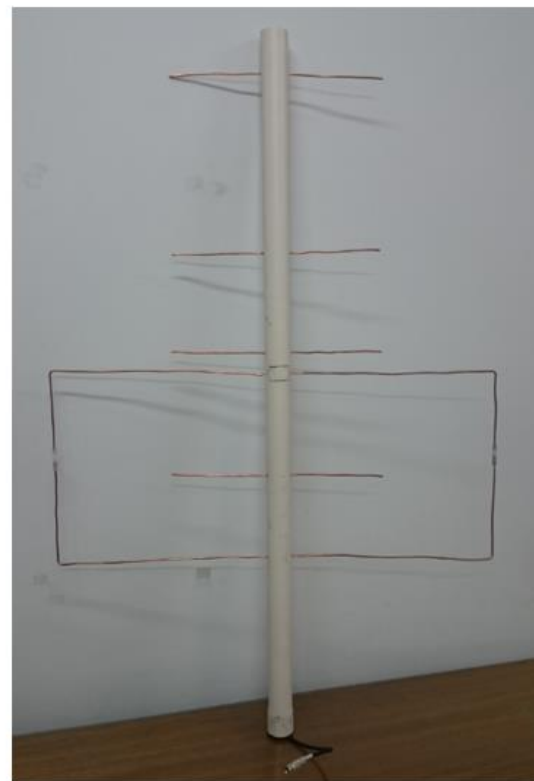


Laptop



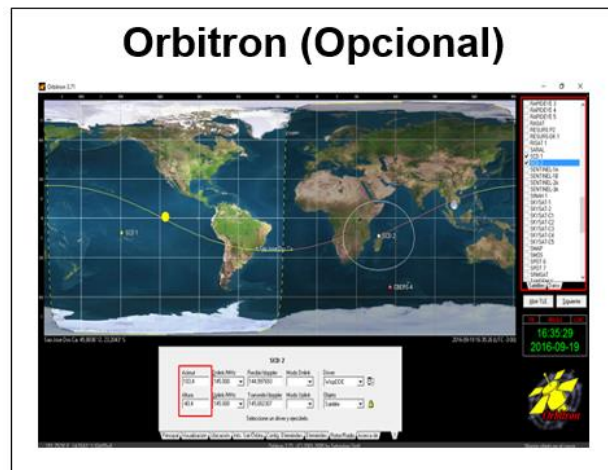
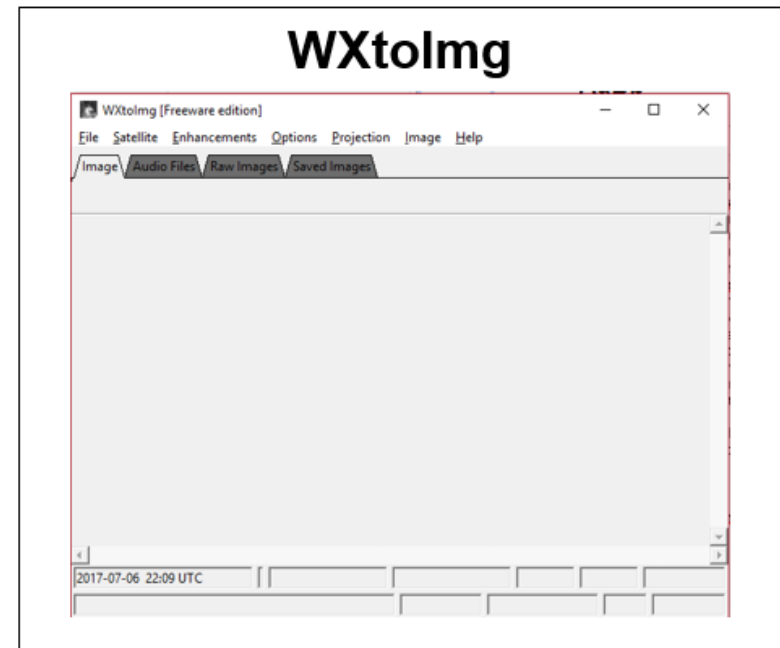
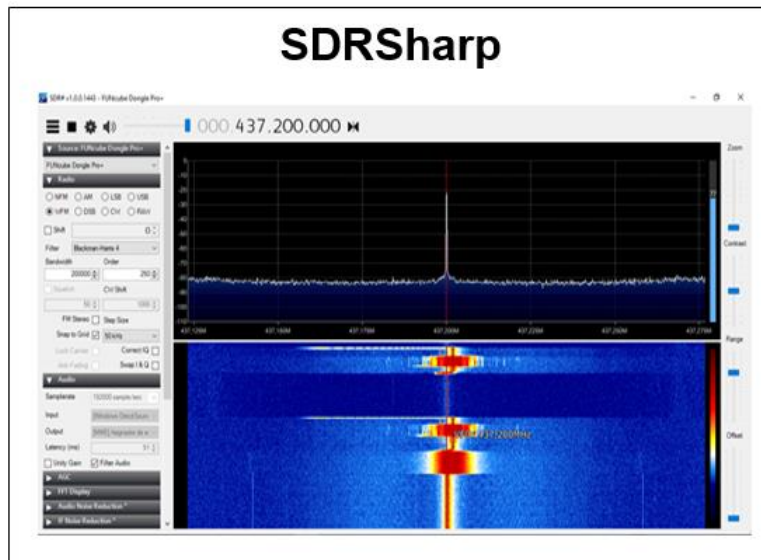
Antena MoxonZBZ

- 2 elementos em VHF e 4 em UHF
- Fácil fabricação.
- Custo 10 USD.



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

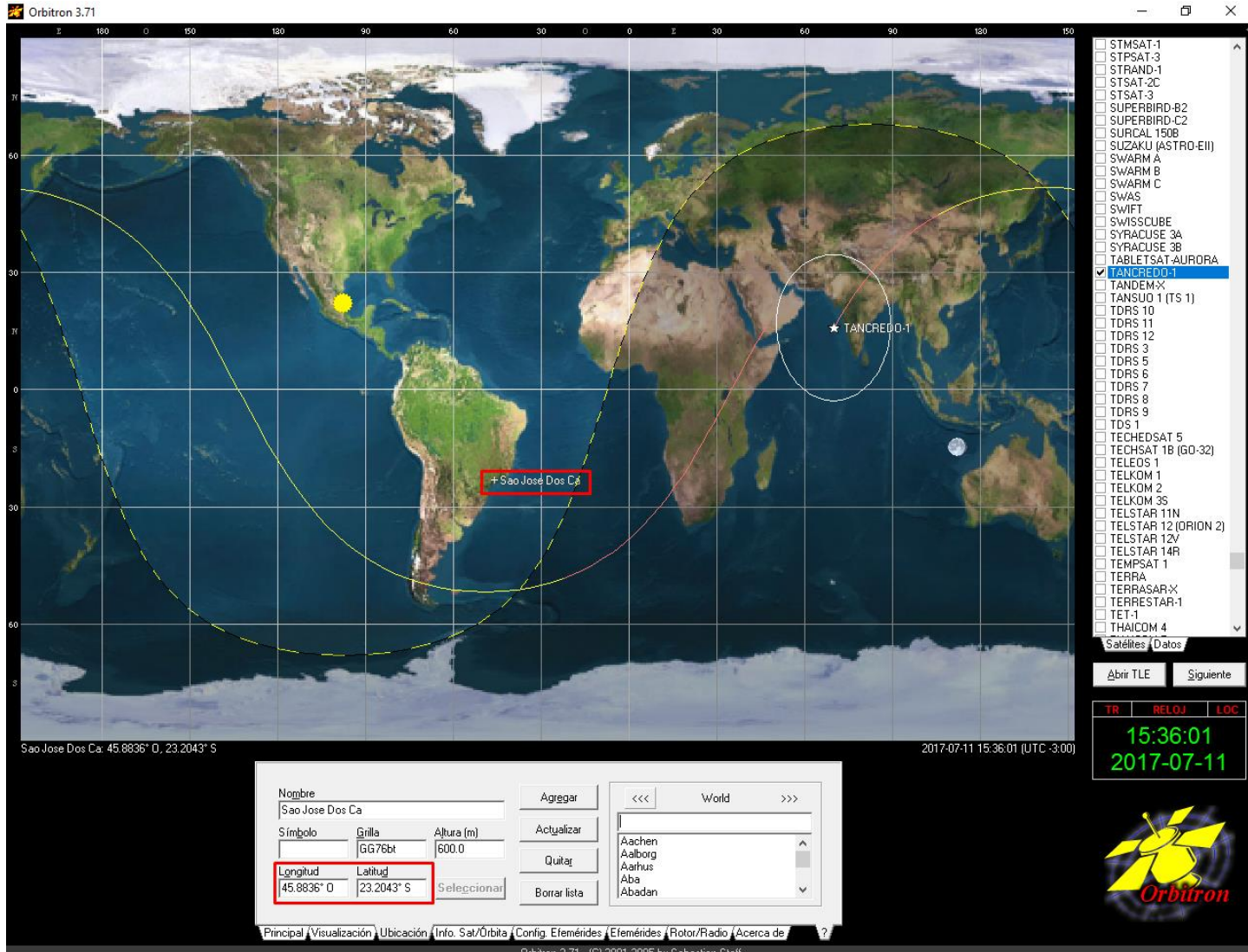
Software necessário.



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Configuração WXtoImg.

Orbitron 3.71



Sao Jose Dos Ca: 45.8836° O, 23.2043° S

2017-07-11 15:36:01 (UTC -3:00)

Nome: Sao Jose Dos Ca

Simbolo: GG76bt

Altura (m): 600.0

Longitud: 45.8836° O

Latitud: 23.2043° S

Selecionar

Agregar

Actualizar

Quitar

Borrar lista

<<< World >>>

Aachen

Aalborg

Aarhus

Aba

Abadan

Principal Visualización Ubicación Info. Sat/Orbita Config. Elemérids Elemérids Rotor/Radio Acerca de ?

Orbitron 3.71 (M) 2001-2009 by Sebastian Stoll

Satélites / Datos

Abrir TLE

Siguiente

TR RELOJ LOC

15:36:01

2017-07-11

Orbitron

Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Configuração WXtolmg.

Localização da estação em terra.

WXtolmg [Freeware edition]

File Satellite Enhancements Options Projection Image Help

Image Audio Files Raw Images Saved Images

WXtolmg: Ground Station Location

City: São Jose dos Campos

Country: Brazil

Lookup Lat/Lon

Enter City and Country and click Lookup Lat/Lon or enter latitude and longitude in degrees and fractions of degrees. North and east should be entered as positive numbers, south and west as negative numbers (example: enter 45 degrees 30 minutes west as -45.500).

Latitude: -23.204

Longitude: -45.884

Altitude (meters): 600.0

☐ Use GPS on COM2: at 4800 baud

☐ Set PC clock from GPS (if use GPS enabled)

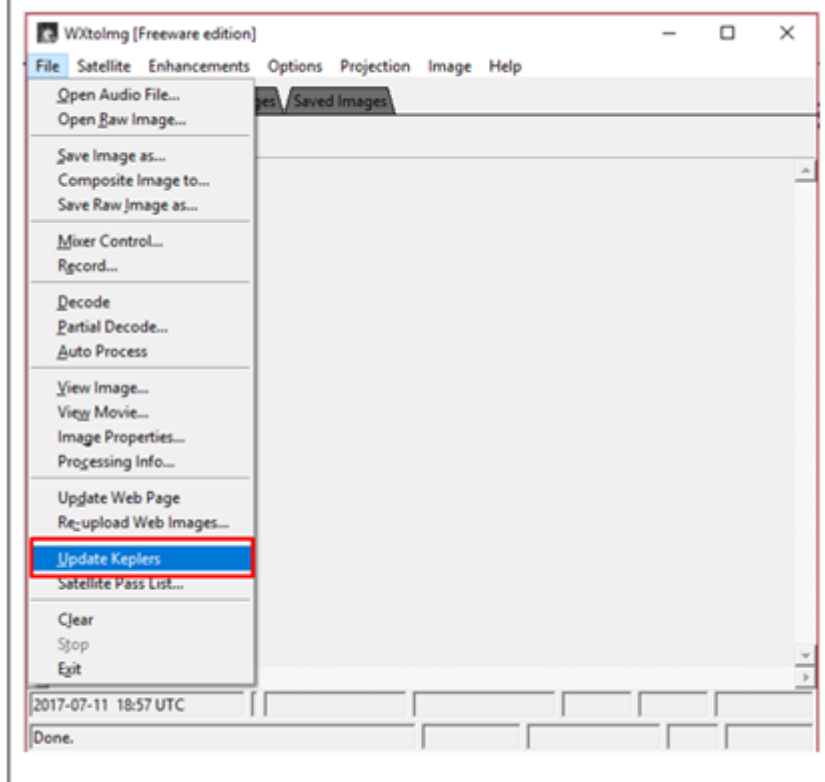
OK Cancel

2017-07-11 18:39 UTC

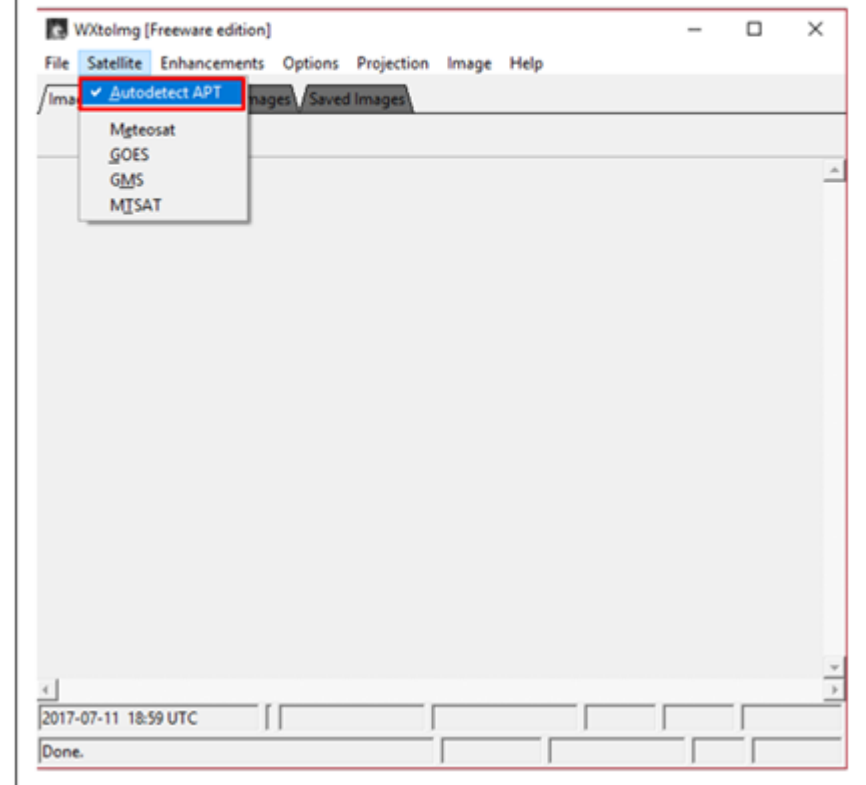
Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Configuração WXtoImg.

Atualizar informação dos satélites.



Autodetecção do sinal APT (Automatic Picture Transmission).



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Configuração WXtoImg.

Lista de passagens dos satélites.

WXtoImg [Freeware edition]

File Satellite Enhancements Options Projection Image Help

Image Audio Files Raw Images Saved Images

WXtoImg: Satellite Pass List

Look ahead 1 week

Satellite passes for São Jose dos Campos, Brazil (23°12'S 45°53'W)
while above 15.0 degrees with a maximum elevation (MEL) over 20.0 degrees
from 2017-07-11 15:58:37 Hora estándar Sudamérica este (2017-07-11 18:58:37 UTC)

2017-07-11 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 15	N	56W	50W	07-11 18:49:01	21:49:01	8:37	137.6200
NOAA 18	N	51E	40W	07-11 18:54:53	21:54:53	8:46	137.9125

2017-07-12 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	71E	43W	07-12 02:53:31	05:53:31	9:07	137.1000
NOAA 15	S	89E	46W	07-12 05:59:06	08:59:06	8:53	137.6200
NOAA 18	S	39E	38W	07-12 06:11:44	09:11:44	8:18	137.9125
NOAA 19	N	72E	44W	07-12 15:25:19	18:25:19	9:18	137.1000
NOAA 15	N	79E	45W	07-12 18:23:59	21:23:59	8:56	137.6200
NOAA 18	N	38E	37W	07-12 18:43:33	21:43:33	8:07	137.9125

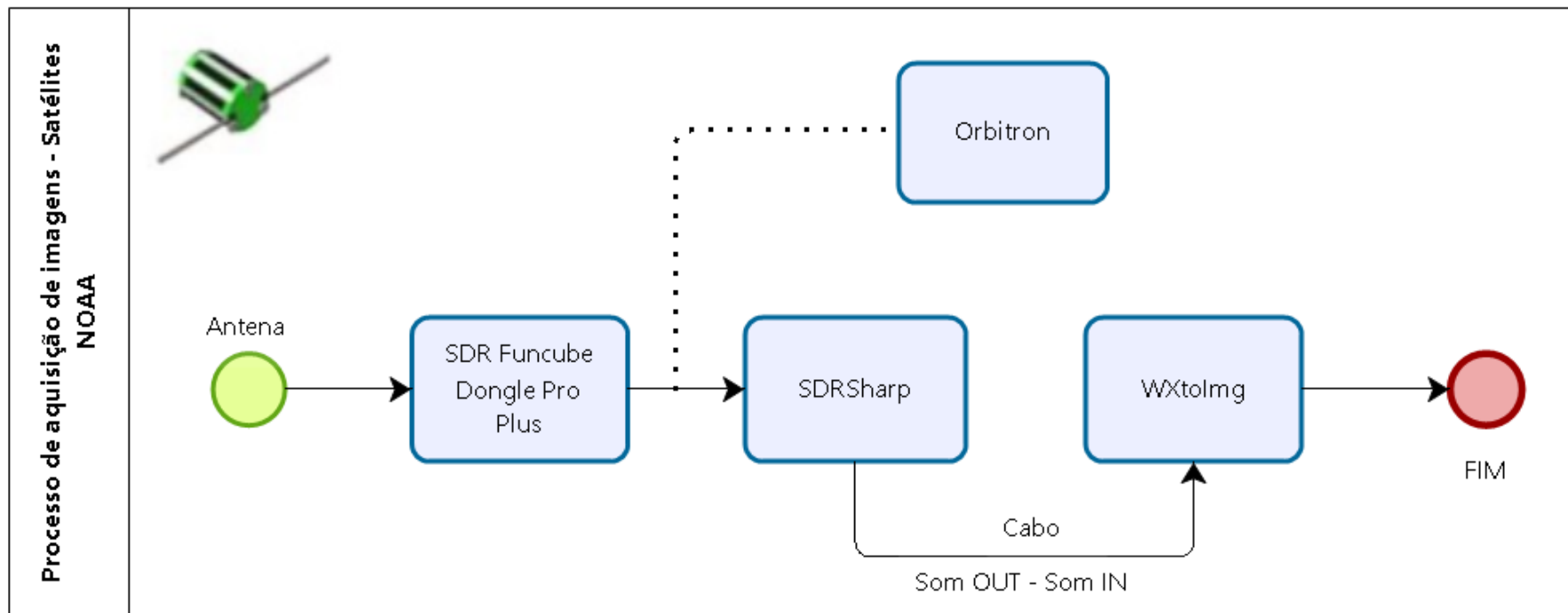
2017-07-13 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	53E	41W	07-13 02:42:13	05:42:13	8:48	137.1000
NOAA 15	S	47E	40W	07-13 05:34:33	08:34:33	8:17	137.6200
NOAA 18	S	30E	35W	07-13 06:00:39	09:00:39	7:21	137.9125
NOAA 19	S	24W	59W	07-13 07:41:35	10:41:35	6:27	137.9125
NOAA 19	N	54E	41W	07-13 15:13:59	18:13:59	9:00	137.1000
NOAA 15	N	41E	38W	07-13 17:59:27	20:59:27	8:06	137.6200
NOAA 18	N	29E	35W	07-13 18:32:23	21:32:23	7:08	137.9125

Print Close

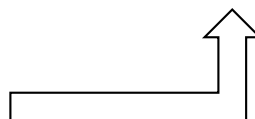
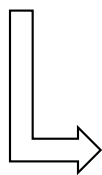
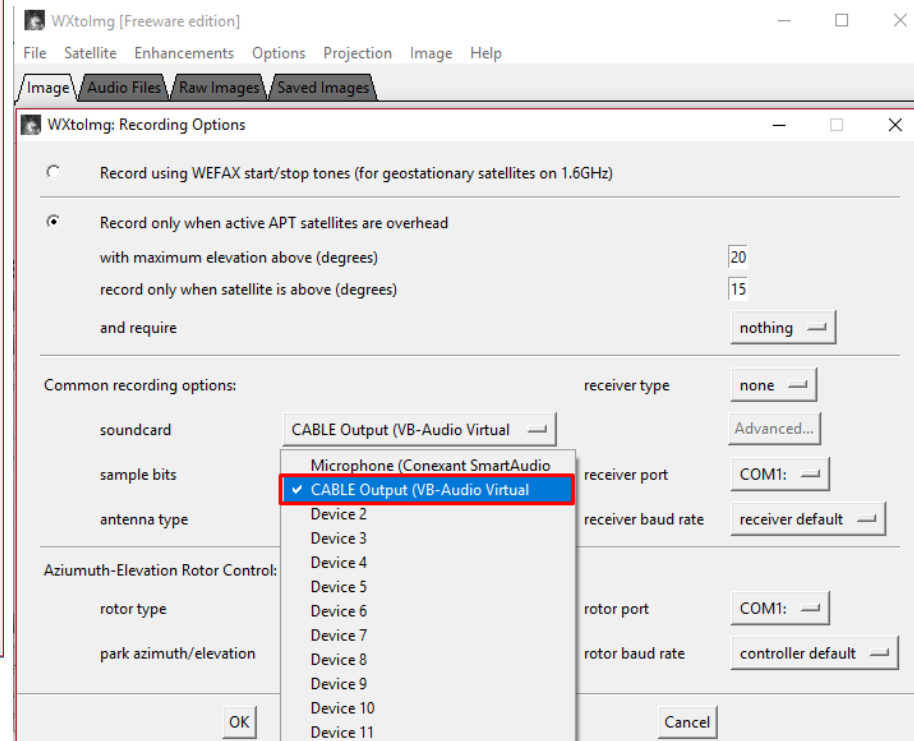
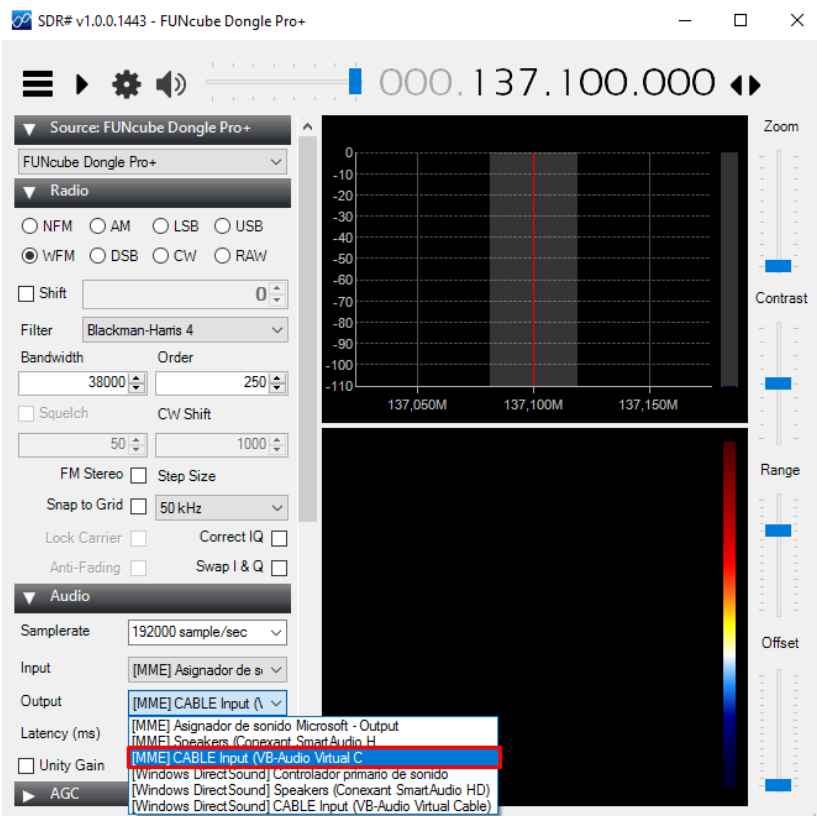
Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Esquema de funcionamento.



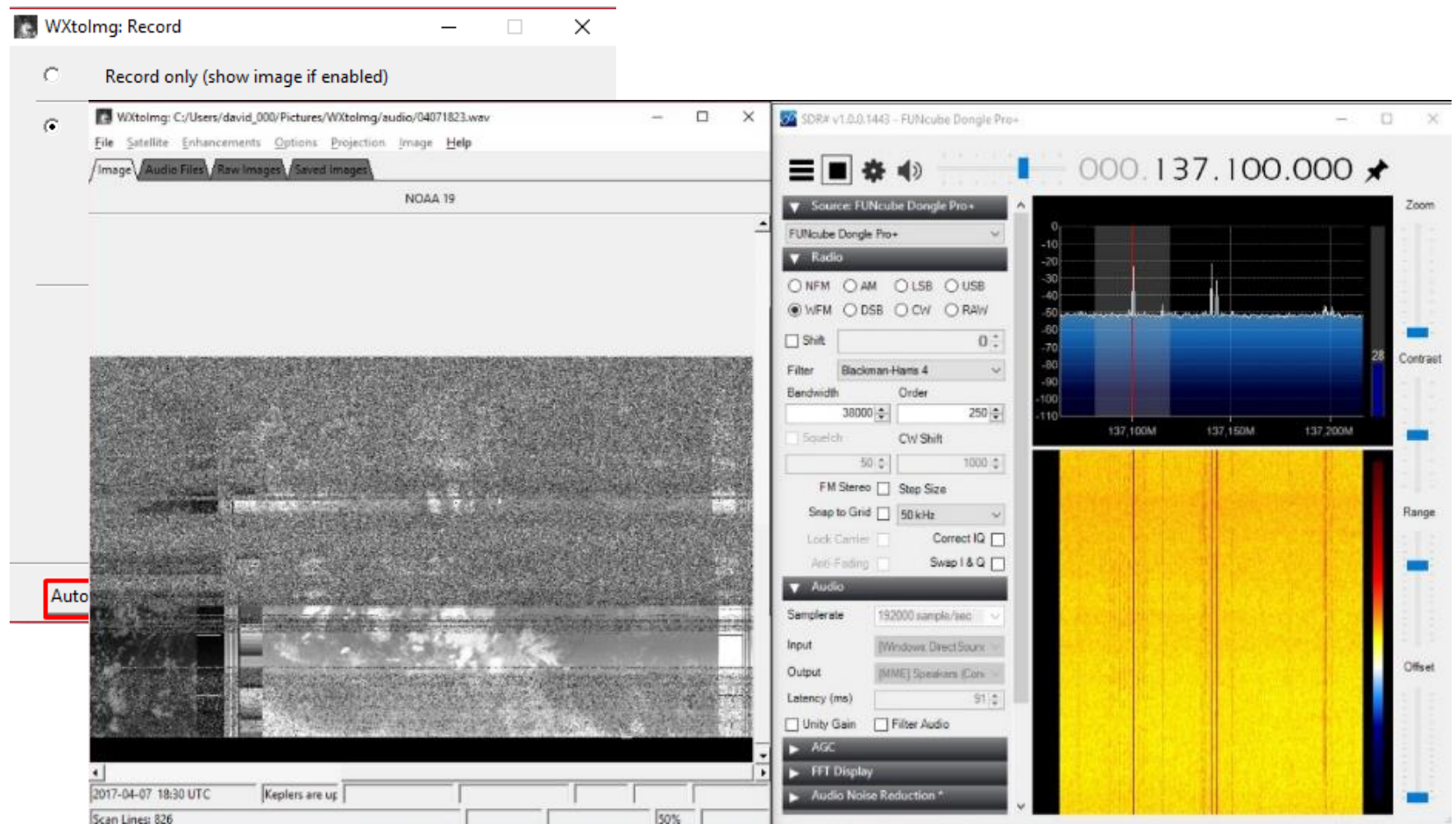
Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Comunicação SDRSharp – WXtoImg com Virtual Audio Cable.



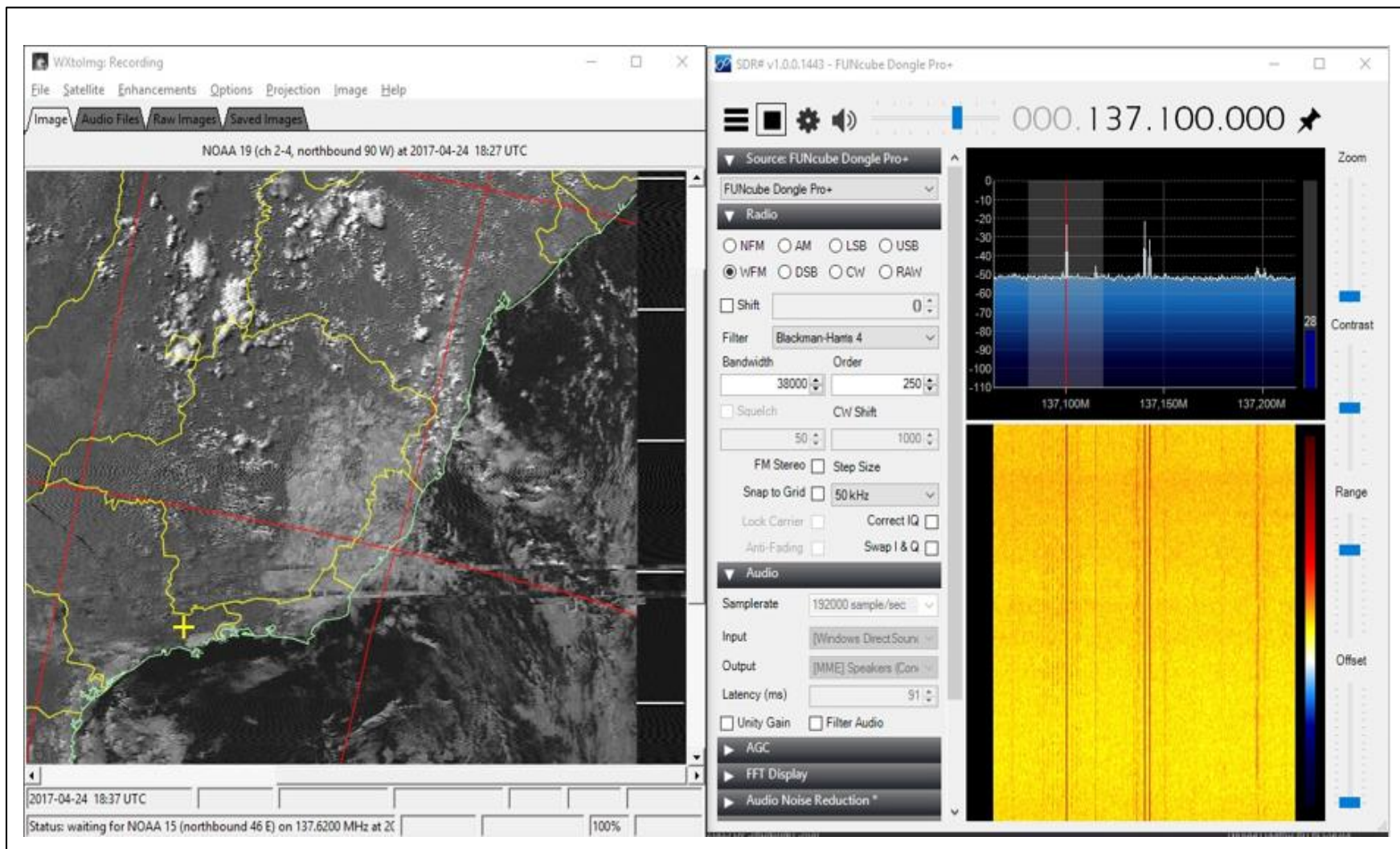
Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Início da decodificação da imagem.



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

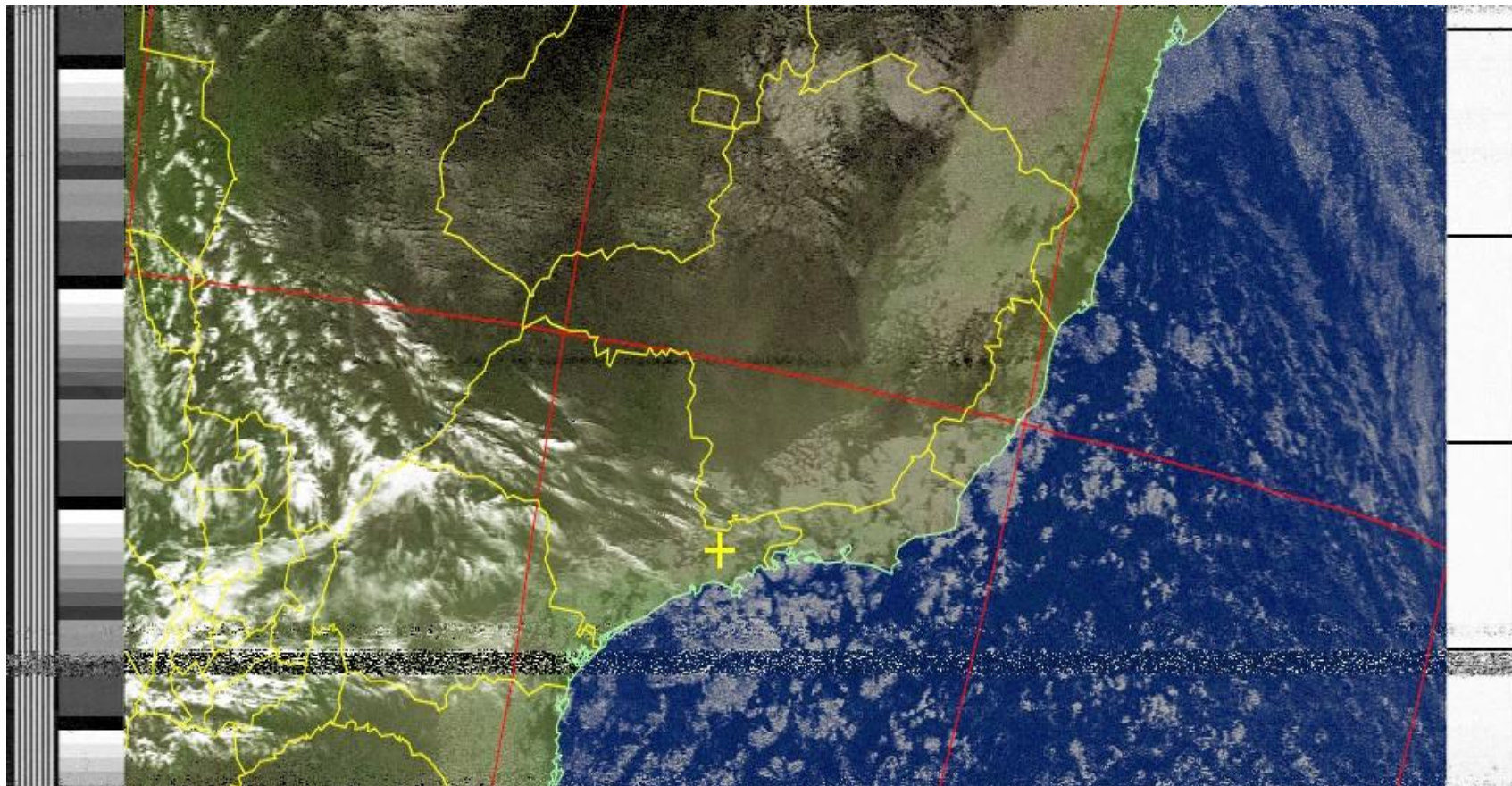
Resultado Final.



Aquisição Imagens dos Satélites NOAA.

Resultado Final.

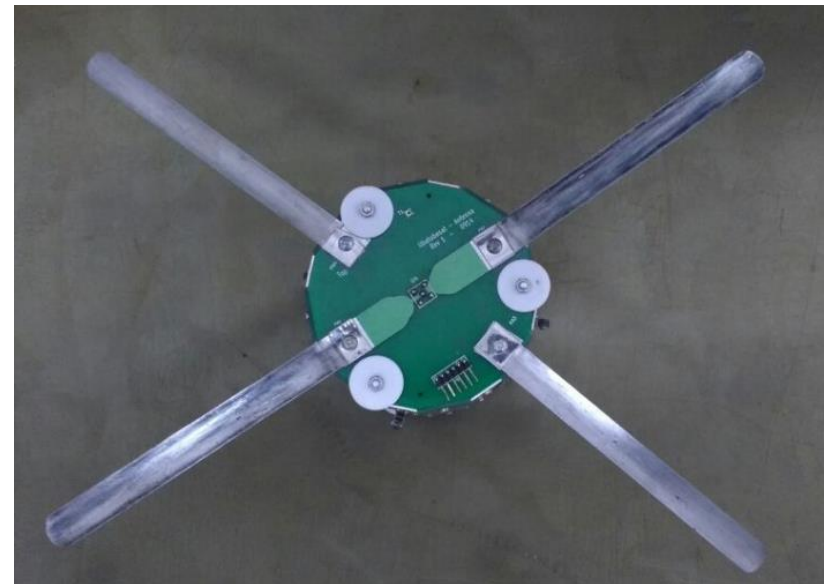
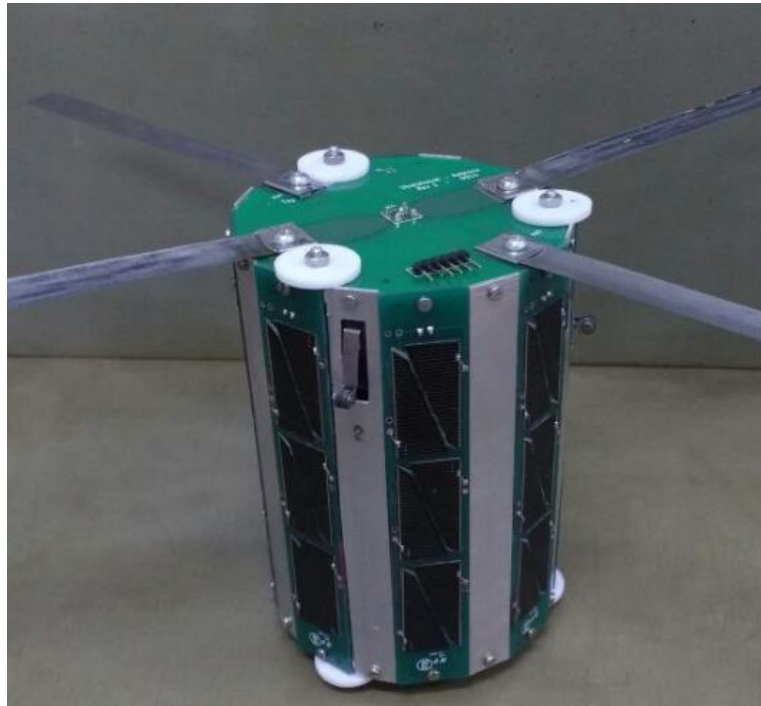
Imagem recebida no dia 03 de Julho do 2017.



Tancredo-1.

UbatubaSat.

- Designed at the primary school "Presidente Tancredo de Almeida Neves" located in Ubatuba, São Paulo, Brazil; With the aim of arousing student's interest in space science and technology.
- Downlink and Uplink Frequency: 437,2 MHz (Half Duplex)



Source: Authors

Opções de Software para Decodificação de Telemetrias.

■ Seguimento e apontamento:

- ☐ Heavens-Above. (Android).
- ☐ Orbitron.

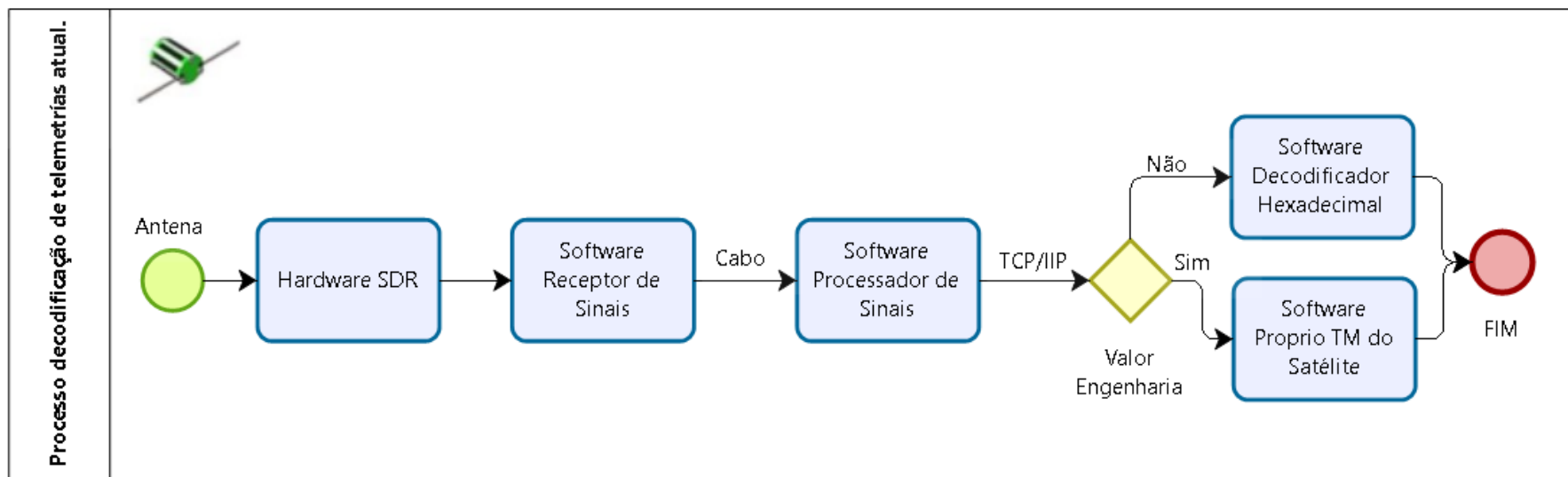
■ Recepção e processamento:

- ☐ SDR Sharp.
- ☐ SoundModem.
- ☐ AGW OnlineKiss.
- ☐ UbaTM-Decoder. *Este software foi desenvolvido como uma contribuição do grupo AMSAT-BR e PY2SDR (Edson Pereira) para o projeto UbatubaSat.*

Decodificação de telemetrias com SDR.

Esquema de configuração.

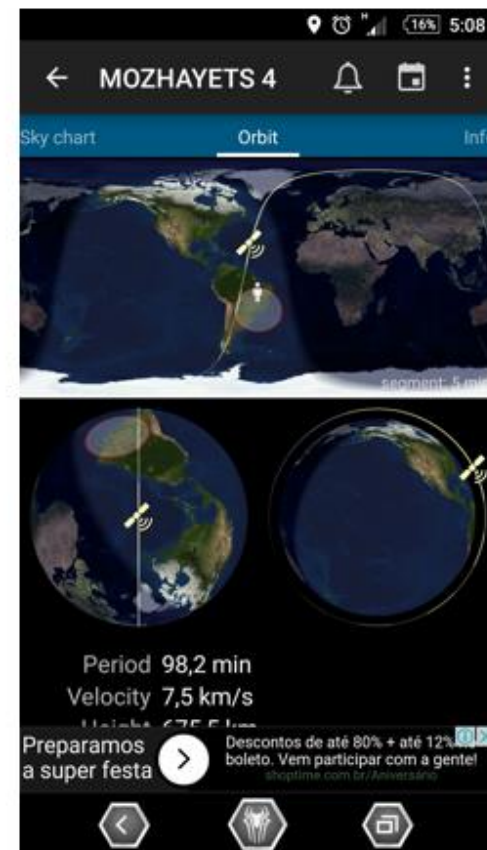
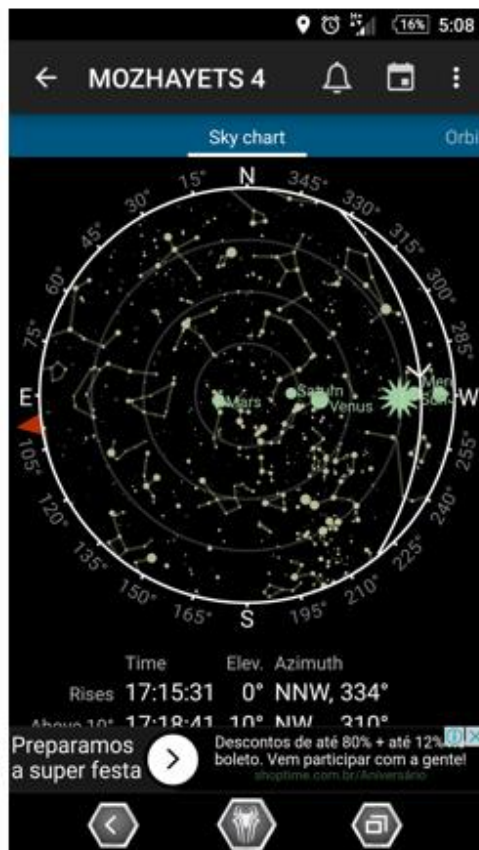
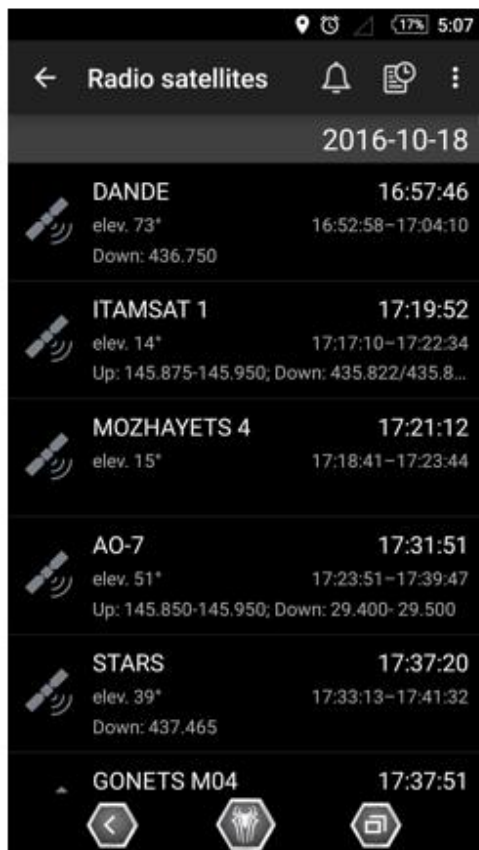
- Configurações atual para obter telemetrias.



Heavens-Above

Informação dos satélites.

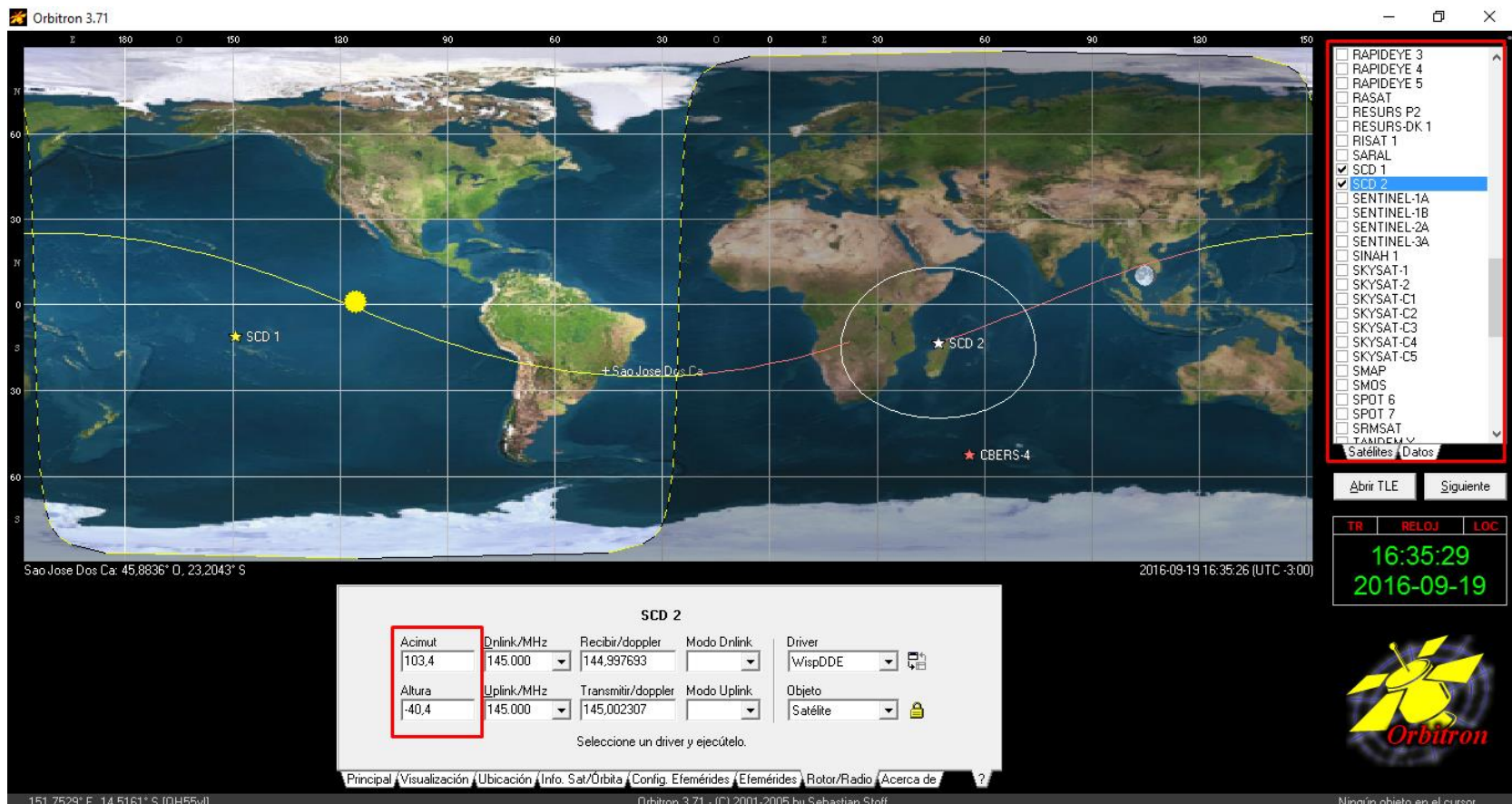
- Tem a listagem de satélites à vista. Além de informações sobre cada um deles e frequências para downlink e uplink de informação.



Orbitron.

Seguimento de Satélites.

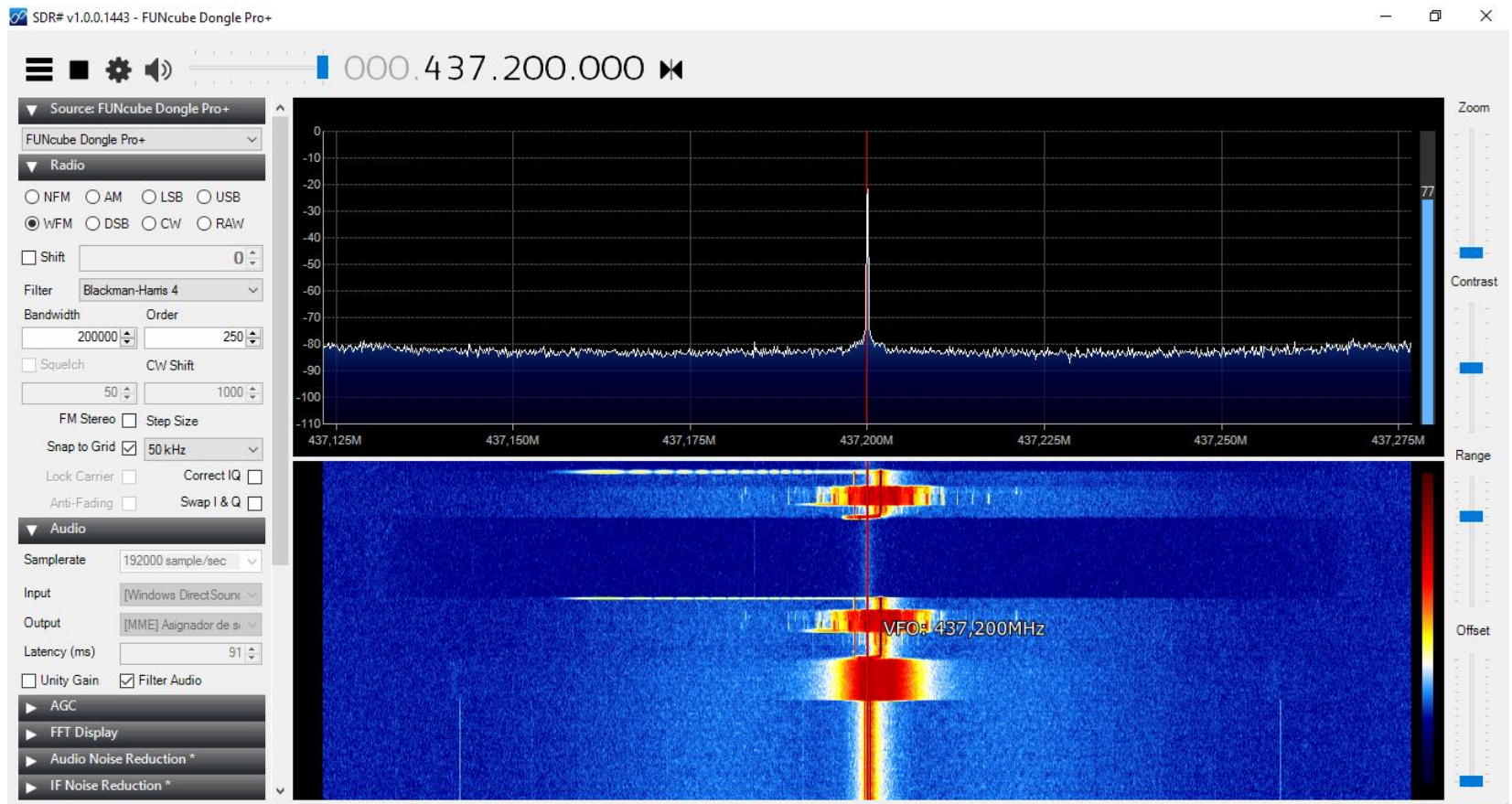
- Software adicional para seguimento de satélites, informação da posição do satélite (Azimute e Elevação).



SDR Sharp.

Recepção do Sinal.

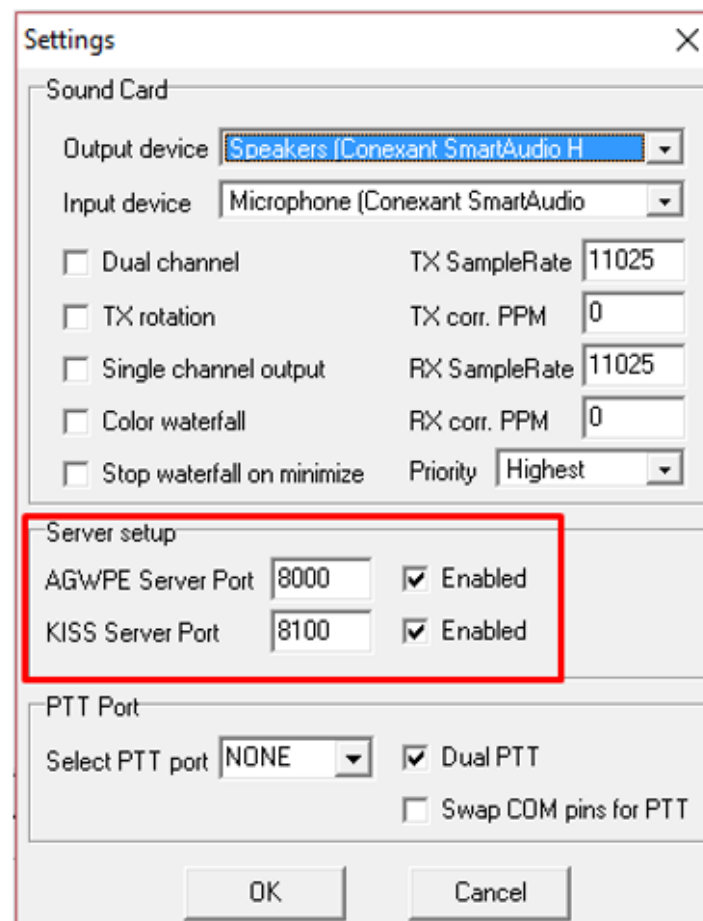
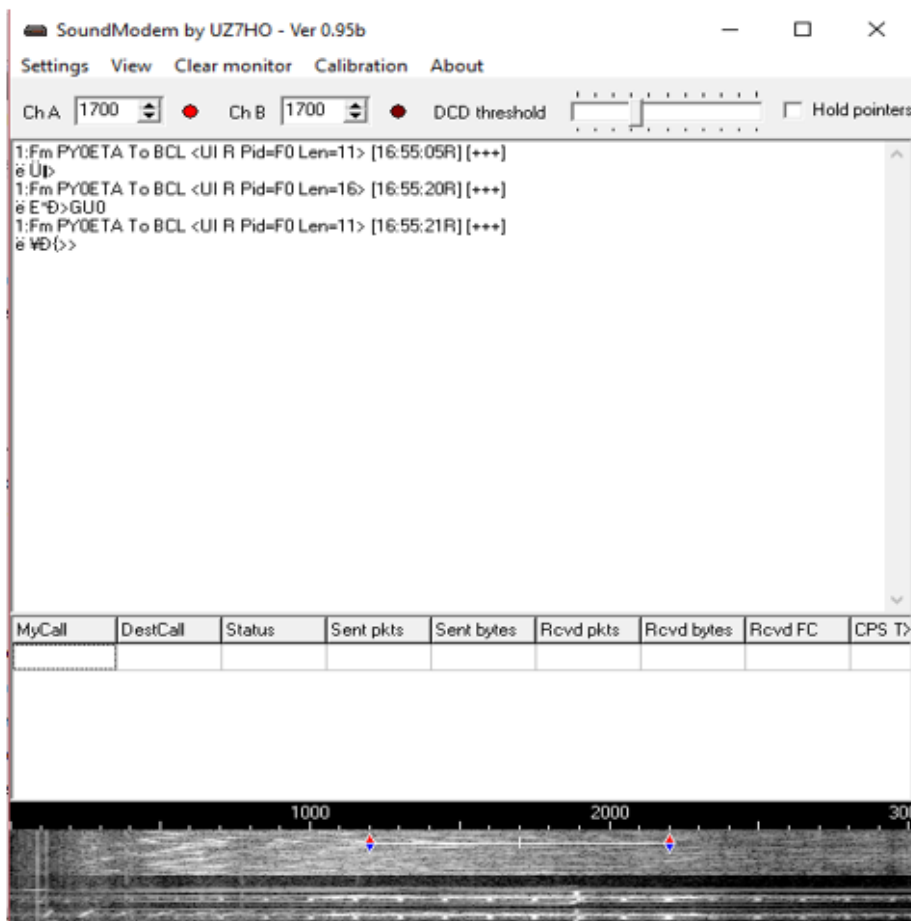
- SDR (Software Defined Radio). Software que substitui os rádios físicos convencionais e permite escutar e receber os sinais enviados pelo satélite.



SoundModem.

Processador do Sinal.

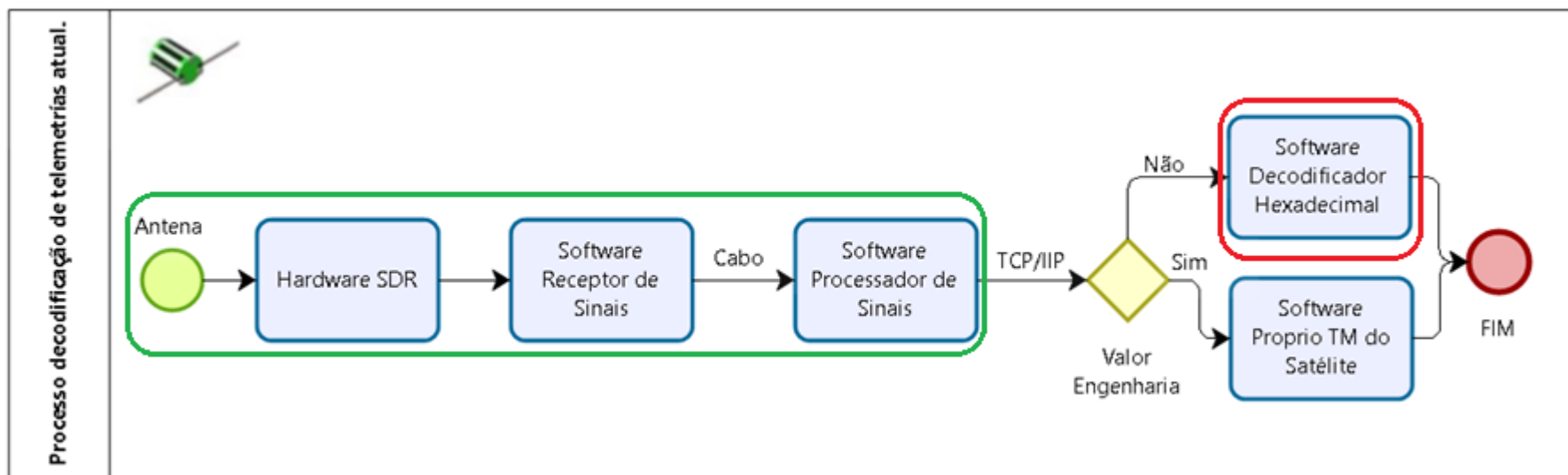
- Software que converte os sinais recebidos pelo SDRSharp em informação codificada em ASCII.



Decodificação de telemetrias com SDR.

Esquema de configuração.

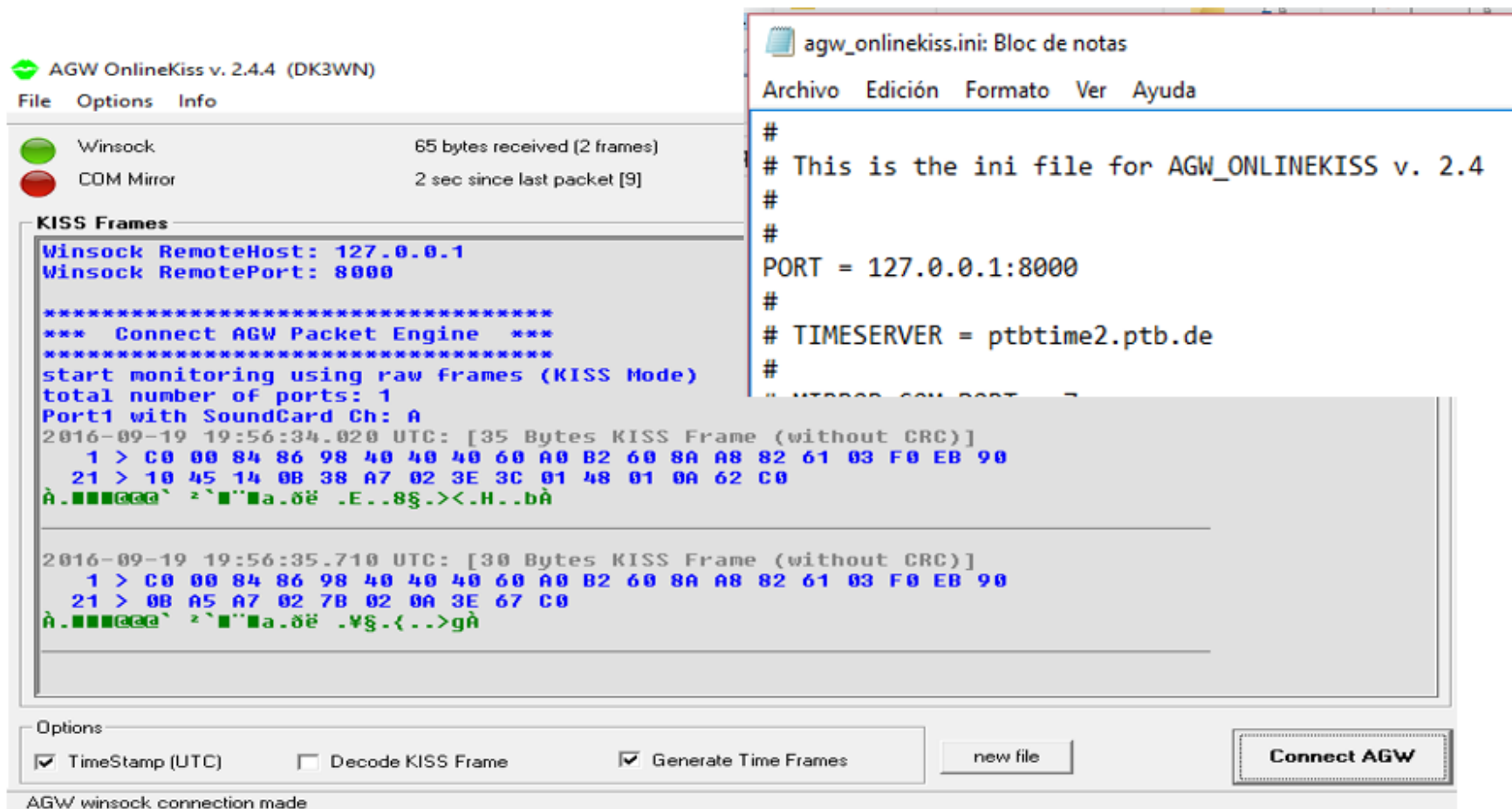
- Decodificador de telemetrias genérico.



AGW Online Kiss.

Conversão de informação (ASCII a Hexadecimal)

- Software que converte a informação codificada em ASCII pelo SoundModem em valores hexadecimais.



AGW OnlineKiss v. 2.4.4 (DK3WN)

File Options Info

Winsock 65 bytes received (2 frames)
COM Mirror 2 sec since last packet [9]

KISS Frames

```
Winsock RemoteHost: 127.0.0.1
Winsock RemotePort: 8000

*****
*** Connect AGW Packet Engine ***
*****
start monitoring using raw frames (KISS Mode)
total number of ports: 1
Port1 with SoundCard Ch: A
2016-09-19 19:56:34.020 UTC: [35 Bytes KISS Frame (without CRC)]
 1 > C0 00 84 86 98 40 40 40 60 A0 B2 60 8A A8 82 61 03 F0 EB 90
21 > 10 45 14 0B 38 A7 02 3E 3C 01 48 01 0A 62 C0
À.■■■■Gga`z`■"■a.ðË.E..8$.><.H..bÂ

2016-09-19 19:56:35.710 UTC: [30 Bytes KISS Frame (without CRC)]
 1 > C0 00 84 86 98 40 40 40 60 A0 B2 60 8A A8 82 61 03 F0 EB 90
21 > 0B A5 A7 02 7B 02 0A 3E 67 C0
À.■■■■Gga`z`■"■a.ðË.¥$.<..>gÂ
```

Options

☒ TimeStamp (UTC) ☐ Decode KISS Frame ☒ Generate Time Frames

AGW winsock connection made

agw_onlinekiss.ini: Bloc de notas

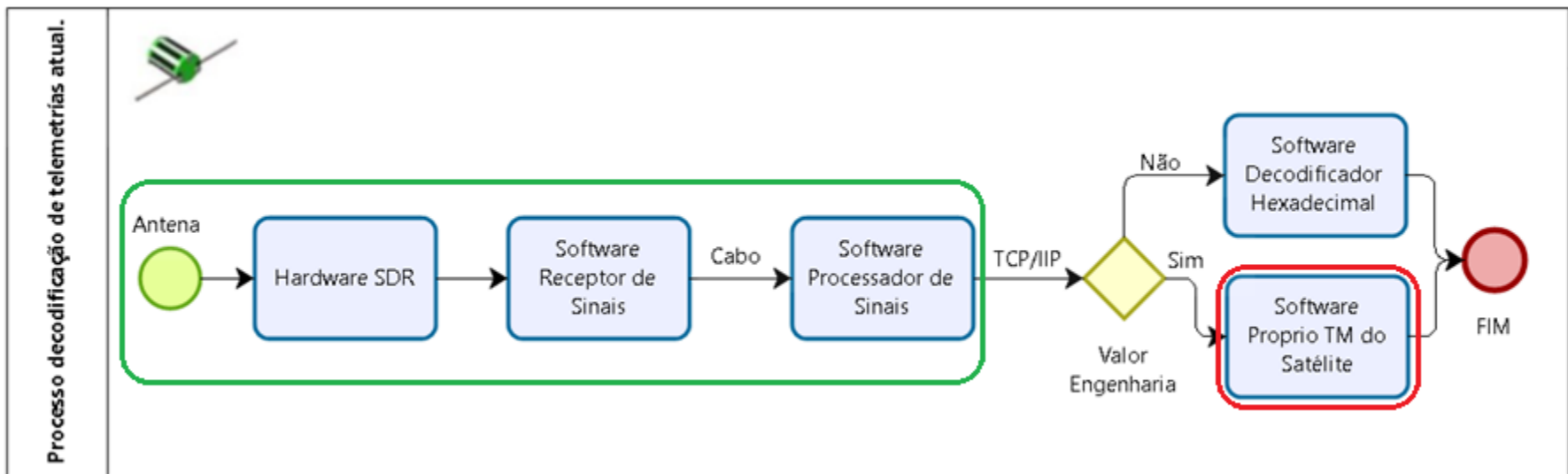
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
#
# This is the ini file for AGW_ONLINEKISS v. 2.4
#
#
PORT = 127.0.0.1:8000
#
# TIMESERVER = ptbtime2.ptb.de
#
# ***** COM PORT *****
```

Decodificação de telemetrias com SDR.

Esquema de configuração.

- Software próprio do satélite para obter o valor de engenharia.



UbaTM-Decoder v.1.0

Satélite Tancredo - 1

- Software específico para o satélite Tancredo-1, responsável pela obtenção do valor bruto de cada uma das telemetrias. Contribuição do Edson Pereira (PY2SDR).

AMSAT-BR :: UBATUBASAT Telemetry Console by PY2SDR -- Ver 1.00

Program Mode

PY2EMT ☒ Decode Test Log: Save

RAW TLM

	Group	Description	Value	Unit
1	0x25	Battery Voltage	?	Volts
2	0x25	Temperature	?	Degrees C
3	0x56	Sequence Controller Least	19.00	
4	0x56	Sequence Controller Most	0.00	
5	0x56	Battery Voltage	3.90	Volts
6	0x56	Temperature	29.33	Degrees C
7	0x56	Solar Panel 1	0.98	Volts
8	0x56	Solar Panel 2	0.98	Volts
9	0x56	Solar Panel 3	0.98	Volts
10	0x56	Solar Panel 4	0.49	Volts
11	0x56	Solar Panel 5	0.98	Volts
12	0x56	Solar Panel 6	0.98	Volts
13	0x56	Solar Panel 7	0.98	Volts
14	0x56	Solar Panel 8	0.98	Volts
15	0x56	TX Power	500	mW
16	0x45	Sample Time	15:44:51	HH:MM:SS
17	0x45	Battery Voltage	3.84	Volts
18	0x45	Temperature	29.33	Degrees C
19	0x45	Langmuir Probe 1	162.76	Volts
20	0x45	Langmuir Probe 2	168.13	Volts
21	0x45	TX Power	100	mW
22	0x4A	Sample Time	15:45:07	HH:MM:SS
23	0x4A	Battery Voltage	3.84	Volts
24	0x4A	Temperature	29.33	Degrees C
25	0x4A	Langmuir Probe 1	161.29	Volts
26	0x4A	Langmuir Probe 2	168.13	Volts
27	0x4A	Langmuir Probe 2	167.64	Volts

PY0ETA Example 1 Send

Modem Connected to 127.0.0.1:8100 RX: 20 TX: 0 Connect

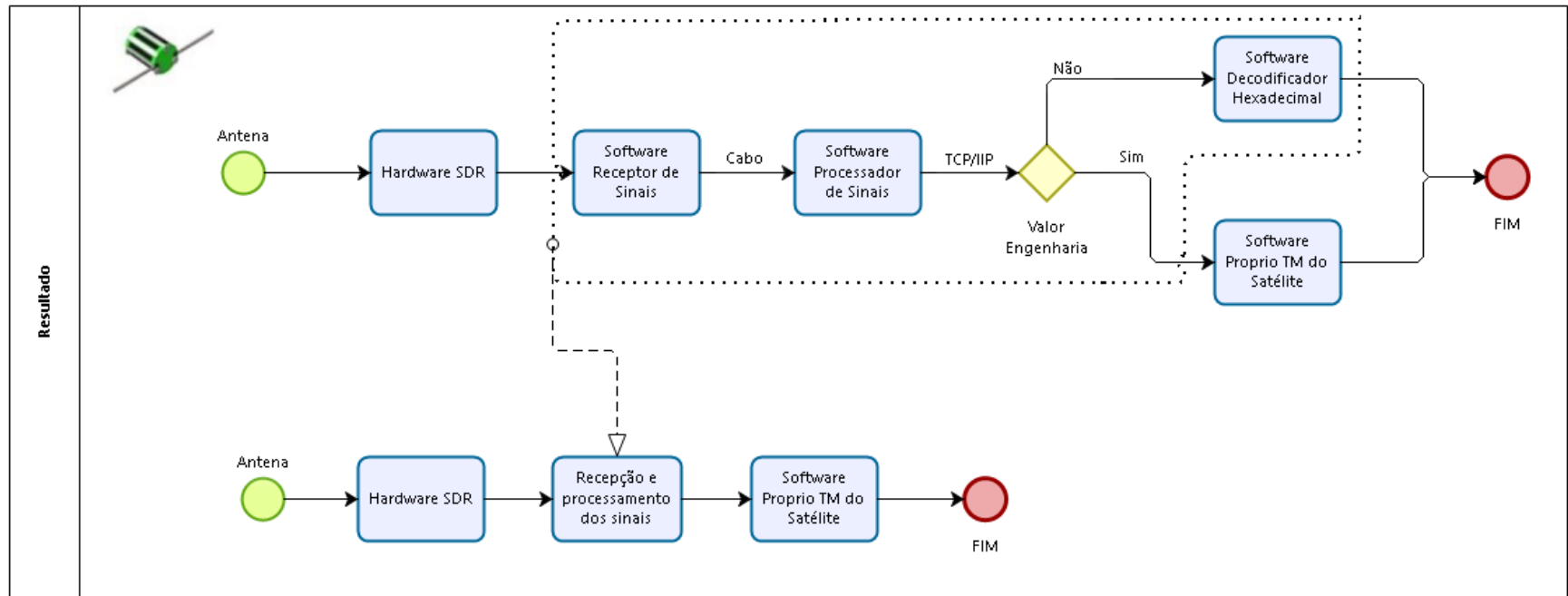
Problemas de Interoperabilidade entre os Software.

- Os problemas de interoperabilidade aparecem quando se tenta rastrear um satélite e tem que reunir todos os pacotes de software antes mencionados para obter telemetrias, por exemplo:
 - A saída de som do SDRSharp, torna-se a entrada de sinal do programa SoundModem para a conversão de som em informação codificada ASCII;
 - As informações codificadas ASCII fornecidas pela SoundModem são enviadas através de uma porta de comunicação, em uma máquina local ou remota (endereço IP). Isso depende se o satélite que está sendo rastreado se comunica com uma das duas aplicações especificadas para cada modo.

DECODIFICADOR DESENVOLVIDO.

Decodificador compacto.

- Amigável do ponto de vista do usuário, compacto, eficaz e focado na necessidade.



Decodificação de telemetrias com GNURadio.

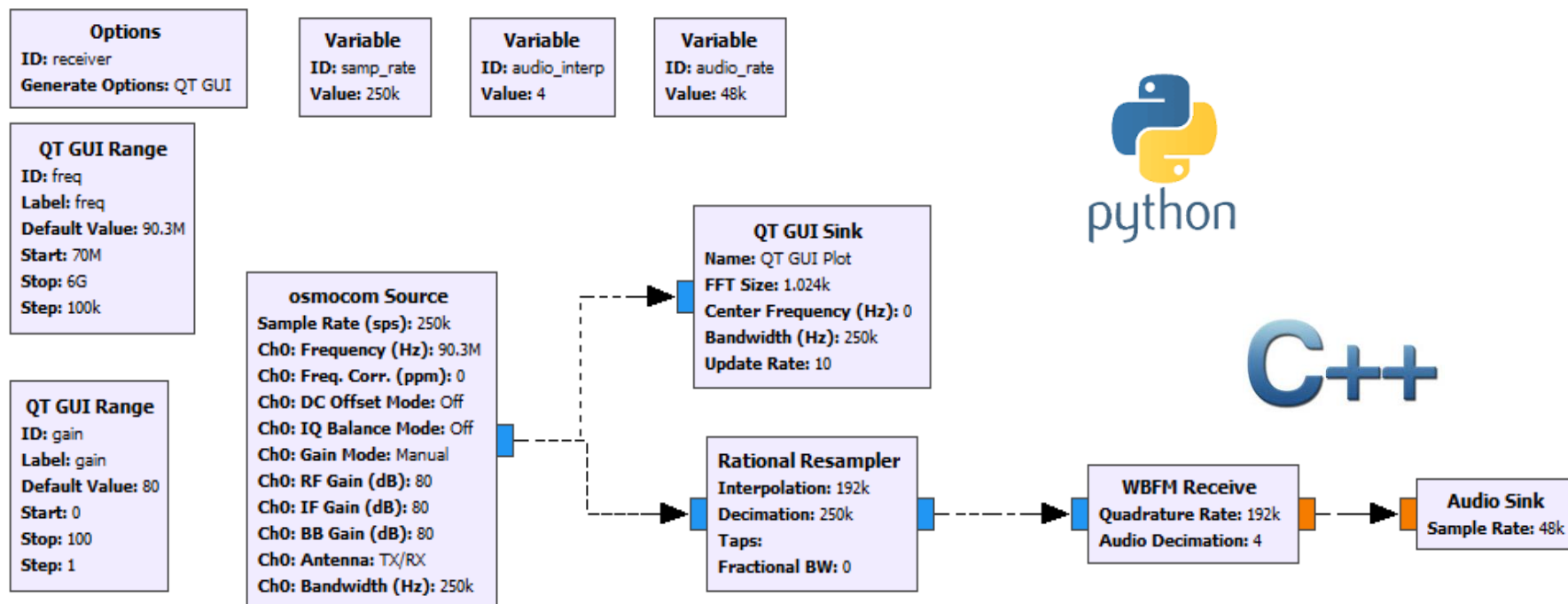
Esquema de Configuração Planejada.

- Configuração planejada para obter telemetrias.



Ambiente de desenvolvimento GNURadio.

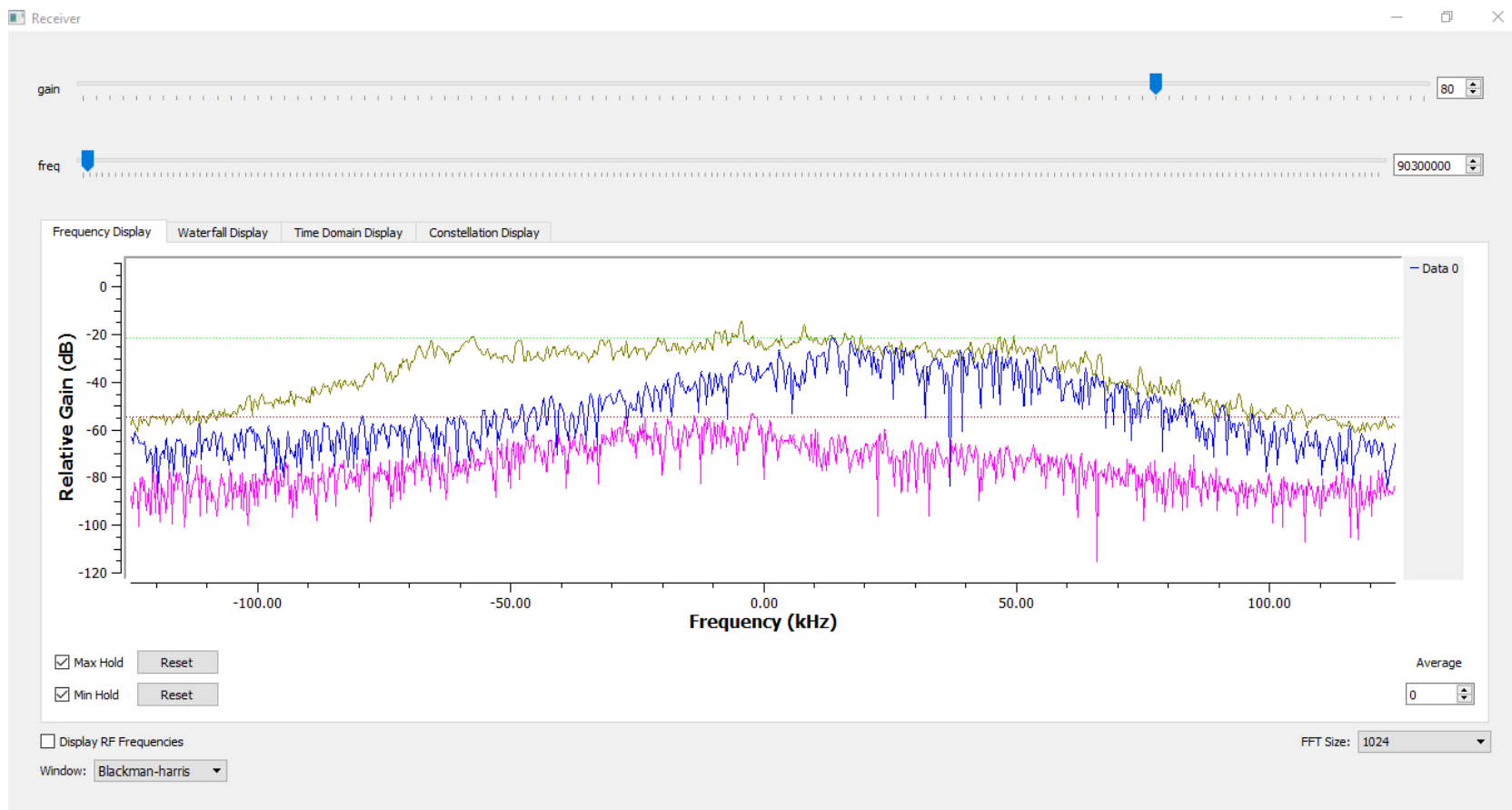
- Diagramas de fluxo para reduzir, custo, esforço, tempo, mão de obra... Etc.



Desenvolvimento em GNURadio.

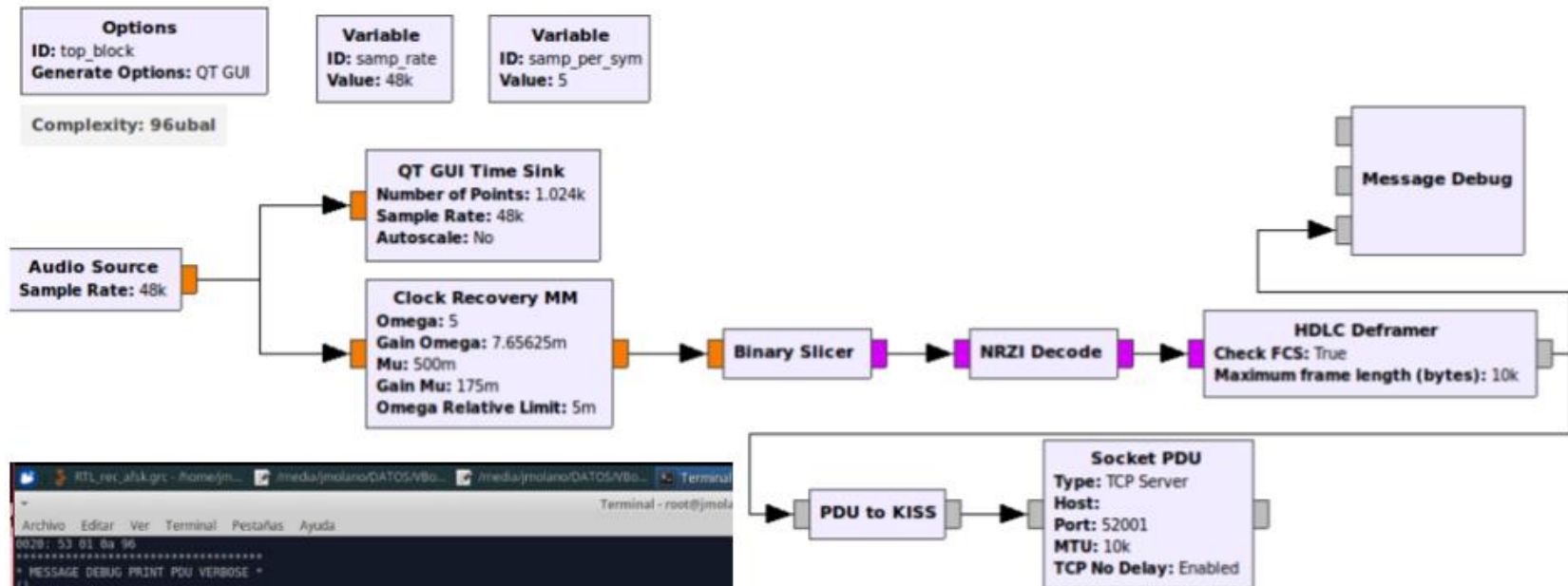
Receptor FM.

- Ferramentas com características acordo de necessidades específicas.



Exemplo Decodificador FSK.

GNURadio



```

Terminal - root@jmol...
Archivo Editar Ver Terminal Pestanas Ayuda
0020: 53 01 0a 90
*****
* MESSAGE DEBUG PRINT PDU VERBOSE *
{}
pdu_length = 27
contents =
0000: 84 06 90 40 40 40 60 a0 b2 60 8a a8 02 61 03 f0
0010: eb 90 40 63 dc 02 ff 02 01 3c fb
*****
* MESSAGE DEBUG PRINT PDU VERBOSE *
{}
pdu_length = 29
contents =
0000: fe 40 40 40 40 40 60 a0 b2 64 8a 9a a8 61 03 f0
0010: ff eb 90 dc 55 14 11 05 17 0e 1f 29 8d
*****
* MESSAGE DEBUG PRINT PDU VERBOSE *
{}
pdu_length = 33
contents =
0000: 84 06 90 40 40 40 60 a0 b2 60 8a a8 02 61 03 f0
0010: eb eb 90 10 5d 55 ff 02 01 dc 02 d6 02 0e 1f 29
0020: d5
*****
* MESSAGE DEBUG PRINT PDU VERBOSE *
{}

```

CONCLUSÕES

- A motivação deste trabalho é reduzir os custos para monitorar principalmente o downlink de projetos de pequenos satélites, que quase sempre são executados em uma restrição orçamentária.
- O material apresentado é simplesmente uma solução usada para monitorar o sinal de telemetria do picosatélite Tancredo-1 como um estudo de caso e uma prova de conceito.
- Os pacotes de software mencionados em conjunto com os elementos de hardware permitem a aquisição de imagens e decodificação das telemetrias de alguns satélites. Parte desse processamento em cadeia é independente do satélite, e apenas o fluxo final quando os valores de engenharia das telemetrias são derivadas, é preciso conhecer a configuração e a estrutura de cada um dos dados de telemetria.
- O desenvolvimento em GNURadio está focado na criação de ferramentas mais compactas e focadas nas necessidades específicas de um projeto espacial.



OBRIGADO - GRACIAS

DAVID JULIÁN MOLANO PERALTA

E-mail: ing.djulian.molano@gmail.com

WALTER ABRAHÃO DOS SANTOS

E-mail: walter.abrahao@inpe.br

DOUGLAS SOARES DOS SANTOS

E-mail: dsoares@ita.br