

- [1] Mitola Joseph, *“Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications”*, Stockholm, Sweden, IEEE, 15 – 17 November 1999.
- [2] Mitola Joseph, Maguire Q. Gerald, *“Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal”*, IEEE, August 1999.
- [3] S. Sesia, T. Issam, M. Baker, *“LTE the UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice”*, Second Edition; WILEY; 2011.
- [4] P. Lee. T. Lee, J. Jeong, J. Shin, *“Interference Management in LTE Femtocell Systems using Fractional Frequency Reuse”*, IEEE, February 2010.
- [5] Spectrum Bridge response to PN DA-092479, *“Proposals for Designated TV Band Database Manager ET Docket No. 04-186”*, January 4, 2010.
- [6] *“Proposal by Microsoft Corporation to serve as a White Spaces Database Administrator”*, April 18 2011.
- [7] *“Proposal by Google Inc. to provide a TV Band Device Database Management solution”*, January 4 2010.
- [8] M. A. Sarijari, A. Marwanto, N. Fisal, S. K. Syed Yusof, R. A. Rashid, M. H. Satria, *“Energy Detection Sensing based on GNU Radio and USRP: An Analysis Study”*, IEEE, 2009.

- [9] K. Kim, I. A. Akbar, K. Bae/ Jung-sun Um, C.M. Spooner, J. H. Reed. *“Cyclostationary Approaches to Signal Detection and Classification in Cognitive Radio”*, IEEE, 2007.
- [10] D. Cabric, A. Tkachenko, R. W. Brodersen, *“Spectrum Sensing Measurements of Pilot, Energy and Collaborative Detection”*, IEEE, 23-25 October 2006.
- [11] Shin-Ming C., Shou-Yu L., Feng-Seng C., and Kwang-Cheng C.. *“On Exploiting Cognitive Radio to Mitigate Interference in Macro/Femto Heterogeneous Networks”*, IEEE, June 2011.
- [12] Gustavo W.O. da Costa, Víctor Álvarez R., P. E. Mogensen, *“Interference Mitigation in Cognitive Femtocells”*, IEEE, 6 – 10 December 2010.
- [13] Fei Peng, Yue Gao, Yue Chen, K. K. Chai, L. Cuthbert, *“Using TV White Space for Interference Mitigation in LTE Femtocell Networks”*, IEEE, ICCTA, 14 -16 October 2011.
- [14] M. Nekovee, Centre for Computational Science, University of College London, *“Quantifying the Availability of TV White Spaces for Cognitive Radio Operation in the UK”*, IEEE, 14 -18 June 2009.
- [15] European Communications Office (ECO), (CEPT), *“SEAMCAT Handbook”*, January 2010.
- [16] SEAMCAT, *“SEAMCAT Implementation of cell and Extended Hata-SRD Models”*.

- [17] Recomendação UIT-RP.1546-4, *“Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz”*.
- [18] http://www.mc.gov.br/documentos/Portaria/Portaria_700_versao_final_faixa_700_megahertz.pdf
- [19] Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), Consulta Pública nº 12/2013, <http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=C1662&Tipo=1&Opcao=finalizadas>
- [20] LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Station (BS) radio transmission and reception - ETSI TS 136 104 v10.1.0 2011. LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio transmission and reception - ETSI TS 136 101 v10.1.0 2011
- [21] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Radio Frequency (RF) System Scenarios- 3GPP TR 36.942 version 10.3.0 Release 10 -LTE 10 Radio Frequency System Scenario.
- [22] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (3GPP TS 36.211 version 10.0.0 Release 10)
- [23] LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access Radio Frequency System Scenarios 3GPP TR 36.942 version 10.3.0 Release 10 .
- [24] LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 10.1.1 Release 10).

- [25] Rashid Saedd, Bharat Chaudhari, Rania Mokhtar; *"Femtocell Communications and Technologies: Business Opportunities and Deployment Challenges"*; IGI GLOBAL; January, 2012.
- [26] ETSI TR 136 921 v10.0.0, *"LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) Requirements Analysis Release 10"*.
- [27] 3GPPP, *"Technical Specification Group Radio Access Network; Home Node B (HNB) Radio Frequency (RF) Requirements (FDD) – Release 10"*, 2011.
- [28] Recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 15601, Televisão Digital Terrestre – Sistema de Transmissão, a partir de la pagina 12.
- [29] http://www.teleco.com.br/es/es_tvdigital_cobertura.asp
- [30] Recomendações da Norma Brasileira ABNT NBR 15604, Televisão Digital Terrestre – Receptores, Página 76.
- [31] Masayuki Takada, Masafumi Sato, *"Transmission System for ISDB-T"*, IEEE January, 2006.
- [32] Resolução nº 398, de 7 de abril de 2005, ANEXO 3, ANEXO VII – CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA ESTUDOS ENVOLVENDO CANAIS DIGITAIS, CANALIZAÇÃO PARA TV DIGITAL, Tabela 2, Tabela IV ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/20-2005/288-resolucao-398>
- [33] European Communications Office (ECO), (CEPT), *"Manual on Cognitive Radio Simulation"*, July 2010.

- [34] <http://tractool.seamcat.org/wiki/Manual/Scenario/CRS>.
- [35] <http://tractool.seamcat.org>
- [36] SEAMCAT, “*SEAMCAT Implementation of Extended Hata and Extended Hata-SRD Models*”.
- [37] Recomendação ITU-R P.1546-1 “*Métodos de predição de ponto a área para serviços terrestres no intervalo de frequência de 30 MHz a 3000 MHz*”.
- [38] Recommendation ITU–R P.1546-4, “*Métodos de predição de ponto a área para serviços terrestres no intervalo de frequência de 30 MHz a 3000 MHz*”, October, 2009.
- [39] Recomendação ITU-R P,1546-1 (2003) propagation model: implementation in SEAMCAT.
- [40] Federal Communications Commission (FCC), “*Second Memorandum Opinion and Order, In the matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Additional Spectrum for Unlicensed Devices below 900 MHz and the 3GHz Band* ”, September 2010.
- [41] ECC (Electronic Communications Committee) , Report 159 “*Technical and Operational Requirements for the possible operation of Cognitive Radio Systems in the ‘White Spaces of the frequency band 470 – 790 MHz’*”, Cardiff, January 2011.
- [42] S. Lyubchenko, J.P. Kermosal, M. Le Devendec, “*Spectrum Sensing capabilities in SEAMCAT*”.
- [43] ETSI, “*LTE: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Station (BS) radio transmission and reception*”, 3GPP TS 36.104 version 10.1.0 Release 10, Technical Specification, 2011.

- [44] ETSI, “*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Radio Frequency (RF) system scenarios*”, 3GPP TR 36.942 V. 10.3.0 Release 10, Technical Report.
- [45] On-Line SEAMCAT manual <http://tractool.Seamcat.org/wiki/Manual>.
- [46] V. Pauli, J.D. Naranjo, E. Seidel, Nomor Research GmbH, “*Heterogeneous LTE Networks and Inter – Cell Interference Coordination*”, December, 2010.
- [47] IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and information exchange between WRAN Specific Requirements, “*Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications:Policies and Procedures for Operation in the TV Bands*”.
- [48] Dae-Hee Kim, Seong-Jun Oh, JungSoo Woo, “*Coexistence Analysis between IMT System and DTV System in the 700 MHz Band*”, IEEE, October 2012.
- [49] Yi-Xun CHEN, Lin XIAO, Yan SUNm “*Interference Simulation from LTE to Digital Terrestrial Television*”, IEEE, September 2011.
- [50] Aloisi, M. Celidonio, L. Pulcini, A. Rufini, “*A Simulation Study of Broadband Mobile Systems Interference on DVB-T Systems Operating in the UHF Frequency Band*”, IEEE, June 2011.
- [51] A. Guidotti, D. Guiducci, M. Barbiroli, C. Carciofi, P. Grazioso, G. Riva, “*Coexistence and Mutual interference between mobile and broadcasting systems*”, IEEE, May 2011.

- [52] W. Wang, B. Wang, Zhi Lv, W. Huang, Yinghai Zhang, “*Analysis of Interference from Digital Terrestrial Television Broadcast to LTE TDD in Digital Dividend Spectrum*”, IEEE, September 2010.
- [53] Vasilis P. Kalogirou, Elena D. Nanou, Nicolas C. Capsalis, Terpsichori-Helen N. Velivasaki, Christos N. Capsalis, “*Compatibility of DVB-T Services and IMT-2000 Compliant Mobile Telecommunications in the UHF Band of 470 – 862 MHz*”, IEEE, October 2009.
- [54] <http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>
- [55] Ettus Research, A National Instruments Company, <http://www.ettus.com/>.
- [56] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/WikiStart>
- [57] http://www.rohde-schwarz.com/en/product/sfu-productstartpage_63493-8669.html
- [58] <http://www.anritsu.com/ja-jp/Downloads/Brochures-Datasheets-and-Catalogs/Brochure/DWL7430.aspx>
- [59] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/GNURadioCompanion>
- [60] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/USRP2UserFAQ#When-Im-trying-to-look-at-more-data-than-the-computer-can-handle-the-console-prints-S-characters-What-does-that-signify-Do-O-or-U-still-apply-as-on-the-USRP1>.
- [61] <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/UsrpFAQGen>
- [62] http://www.rohde-schwarz.com/en/product/sfu-productstartpage_63493-8669.html

- [63] <http://www.anritsu.com/ja-jp/Downloads/Brochures-Datasheets-and-Catalogs/Brochure/DWL7430.aspx>
- [64] <https://www.ettus.com/product/details/LP0410>
- [65] <http://www.wa5vjb.com/products1.html>
- [66] http://www.antenna.com/apg_products.cgi?id_num=10918
- [67] <http://www.thevear.com.br/New/VerProdutos.aspx?IDSubCat=63>
- [68] [http://www.aquario.com.br/?action=produto&id=38&lang=en#!prettyPhoto\[gallery2\]/2/](http://www.aquario.com.br/?action=produto&id=38&lang=en#!prettyPhoto[gallery2]/2/)
- [69] A. Aloisi, M. Celidonio, L. Pulcini, A. Rufini, “*A Simulation Study of Broadband Mobile Systems Interference on DVB-T Systems Operating in the UHF Frequency Band*”, IEEE, June 2011.

A

Instalação USRP, exemplos em GRC, e resultados de avaliação dos parâmetros MER e BER

A.1

Instalação de GNU Radio e GNU Radio Companion

A seguir, são detalhados dois métodos de instalação do programa GNU RADIO e do GNU RADIO Companion (GRC) utilizados como interfase entre o equipamento de rádio USRP e o computador. Um primer método corresponde a uma instalação manual na qual o usuário deve escrever toda a linha de comandos seguindo estritamente 6 passos básicos de instalação. O segundo método é mais simples e apenas precisa-se da execução de um script.

Os passos a seguir para a correta instalação do programa detalham-se a seguir. Sugere-se visitar o blog do usuário 2011HPS² quem além de detalhar a instalação, dispõe de vários exemplos que ajudam na manipulação e conhecimento do equipamento.

Os ambos os métodos são descritos a seguir:

Instalação Manual

PASSO. 1

Uma vez feita a instalação no computador a versão de Linux – Ubuntu na que se trabalhará (nesta dissertação foi utilizada a versão 12.04) prossegue-se a instalação de GNU Radio, para isso primeiramente deve-se acessar ao site oficial do programa³. Depois, procurar a seção chamada **Content** e nesta, clicar no tópico **Installing GNU Radio**, posteriormente se abrirá uma nova janela onde tem que se procurar a seção **Installing manually from source** e finalmente clicar no *hyperlink Build Guide*.

² <http://www.youtube.com/channel/UCbuReOa8jFhPX8ny1MmjCGA>

³ <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki>

Uma vez aberta a nova janela procurar a versão do sistema operativo no qual se esta trabalhando e se dirigir até a seção ***IV. Operating System Specific Instructions*** e selecionar **LINUX - UBUNTU**. Depois, vai se carregar uma nova janela que terá de nome de seção ***Building GNU Radio on Ubuntu Linux*** e nesta seção, procurar o tópico ***Install Dependencies*** e selecionar ***Lucid (10.04)***. Nesta seção copiar a linha de comandos e executá-lo em um terminal de Ubuntu.

A seguir apresenta-se a linha de comandos a executar no terminal.

Lucid (10.04)

```
sudo apt-get -y install libfontconfig1-dev libxrender-dev libpulse-dev \
swig g++ automake autoconf libtool python-dev libfftw3-dev \
libc++unit-dev libboost-all-dev libusb-dev fort77 sdcc sdcc-libraries \
libsdl1.2-dev python-wxgtk2.8 git-core guile-1.8-dev \
libqt4-dev python-numpy ccache python-opengl libgsl0-dev \
python-cheetah python-lxml doxygen qt4-dev-tools \
libqwt5-qt4-dev libqwtplot3d-qt4-dev pyqt4-dev-tools python-qwt5-qt4
```

PASSO. 2 Instalando UHD (USRP Hardware Driver)

Neste segundo passo é necessário acessar ao site da Ettus Research⁴ e procurar a seção ***Installation Instructions***. Depois, nesta mesma seção procurar o tópico ***Source build and install instructions*** e no tópico ***Get the Source Code*** copiar a linha de comando, apresentada a seguir, no terminal de Ubuntu.

```
git clone git://github.com/EttusResearch/uhd.git
```

PASSO. 3 Instalando UHD (USRP Hardware Driver)

Em um terminal de Ubuntu devem-se escrever os seguintes comandos como propósito de criar a pasta ***build*** e instalar a UHD (USRP Hardware Driver).

⁴ <http://code.ettus.com/redmine/ettus/projects/uhd/wiki>

```
$ cd uhd/host/
```

```
$ mkdir build
```

```
$ cd build
```

```
$ cmake ../
```

```
$ make
```

PASSO. 4 Instalando UHD (USRP Hardware Driver)

A fim de avaliar se foi feita uma instalação correta deve se escrever o seguinte código no terminal do Ubuntu.

```
$ make test
```

Se tudo dar certo se procede a instalar na pasta **Build** o programa do equipamento USRP, o UHD, utilizando o comando:

```
$ sudo make install
```

Depois, escrever o código apresentado a seguir a fim de fazer as modificações no arquivo **.bashrc**. Neste arquivo, é importante confirmar a versão, o endereço do programa Python e das livrarias do programa.

```
$ sudo gedit .bashrc
```

Quando o arquivo ***.bashrc** esteja aberto basta adicionar os seguintes comandos de inclusão das livrarias.

```
#LD_LIBRARY_PATH
```

```
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:usr/local/lib
```

Depois, salvar as modificações feitas e escrever o código **sudo ldconfig** para atualizar a memória cache.

PASSO. 5 Instalando GNU RADIO

Acessar ao site do programa GNU Radio e procurar a seção *Content*. Nesta, clicar no tópico *Installing GNU Radio* que abrirá uma nova janela onde se deve procurar a seção *Installing manually from source* para depois clicar no *hiperlink Build Guide*.

Uma vez aberta esta nova janela procurar o sistema operativo no qual se esta trabalhando. Para isso basta se dirigir até a seção *IV. Operating System Specific Instructions* e seleccionar **LINUX - UBUNTU**.

Depois, na nova janela *Installing GNU Radio* e copiar código disponível no site em um terminal do Ubuntu.

```
git clone http://gnuradio.org/git/gnuradio.git
```

PASSO. 6 Instalando GNU RADIO

Neste passo, se deve acessar à pasta criada *gnuradio* (*cd gnuradio*) e criar a pasta **build** (*mkdir build*) e acessar a esta carpeta (*cd build*). Depois, escrever os comandos para compilar a instalação de GNU Radio e avaliar se a instalação foi satisfatória.

```
$ cmake ../
```

```
$ make
```

```
$ make test
```

Depois, instalar o GNU Radio utilizando o seguinte comando.

```
$ sudo make install
```

Finalmente, deve-se escrever o código **sudo ldconfig** para atualizar a memória cache.

PASSO. 7 Configurando o endereço do Python e o GNU Radio Companion

Neste passo, é importante conhecer a versão do programa Python instalado no sistema operativo (neste trabalho foi utilizada a versão *Python 2.7.*).

Para conhecer a versão do programa, basta se encaminhar para o endereço seguindo o seguinte comando.

```
$ cd/usr/local/lib/
```

Depois, copiar o endereço da localização do Python no diretório e colá-lo no arquivo com extensão **.bashrc**

```
$ cd/usr/local/lib/python2.7/dist-packages
```

A seguir, escrever o seguinte código a fim de fazer as modificações no arquivo **.bashrc**.

```
$ sudo gedit .bashrc
```

Uma vez aberto o programa (***.bashrc**) agregar o endereço da localização do programa *Python 2.7.* escrevendo o endereço que foi mencionado anteriormente.

```
$ #python path for GNU RADIO
```

```
$export PYTHONPATH=$PYTHONPATH:usr/local/lib/python2.7/dist-packages
```

Salvar as modificações feitas e escrever o código **sudo ldconfig** para atualizar a memória cache.

PASSO. 8 Instalando o GNU RADIO COMPANION

Finalmente, descarregar e instalar o programa GNU RADIO COMPANION (GRC) escrevendo o comando.

```
$ sudo apt-get install gnuradio-companion
```

Para abrir o programa GRC basta escrever no terminal de UBUNTU o comando apresentado a seguir.

\$ gnuradio-companion

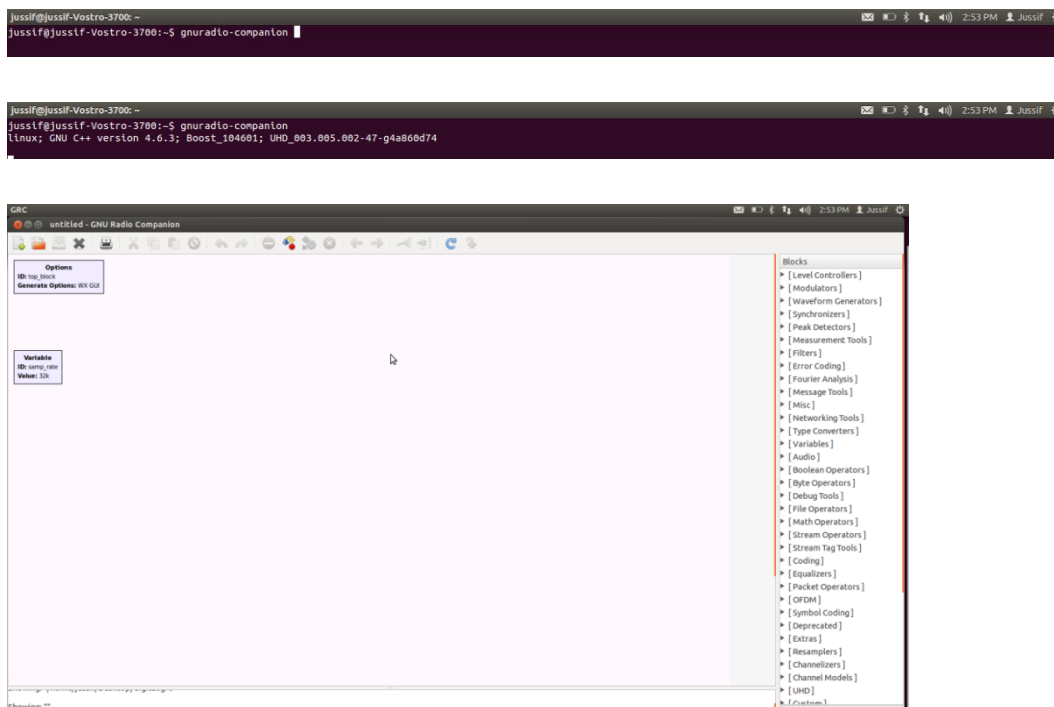


Fig. 133 GNU Radio Companion (GRC) - Versão 3.6.5.1

Instalação usando o script

Um script é um programa já desenvolvido que tem os comandos prontos para ser executados e que os usuários simplesmente tem que executar o nome do script no terminal do sistema operacional Ubuntu – Linux.

A instalação do GNU RADIO – GNU RADIO COMPANION (GRC) detalham-se nos seguintes três passos básicos:

Primer Passo

Acessar ao site do GNU Radio Companion⁵ para depois procurar o tópico **Content** (Conteúdo) **Getting Started – Installing** GNU Radio.

⁵ www.gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki

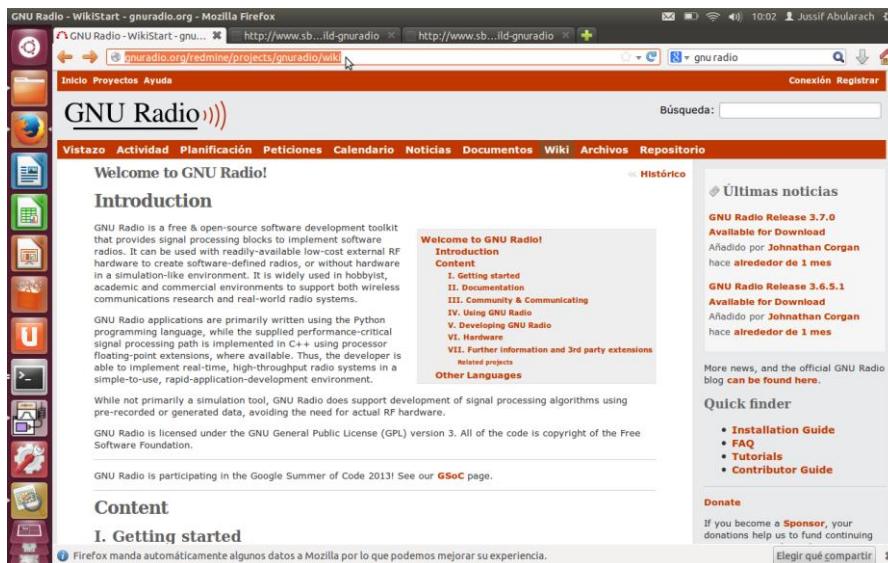


Fig. 134 Site GNU Radio

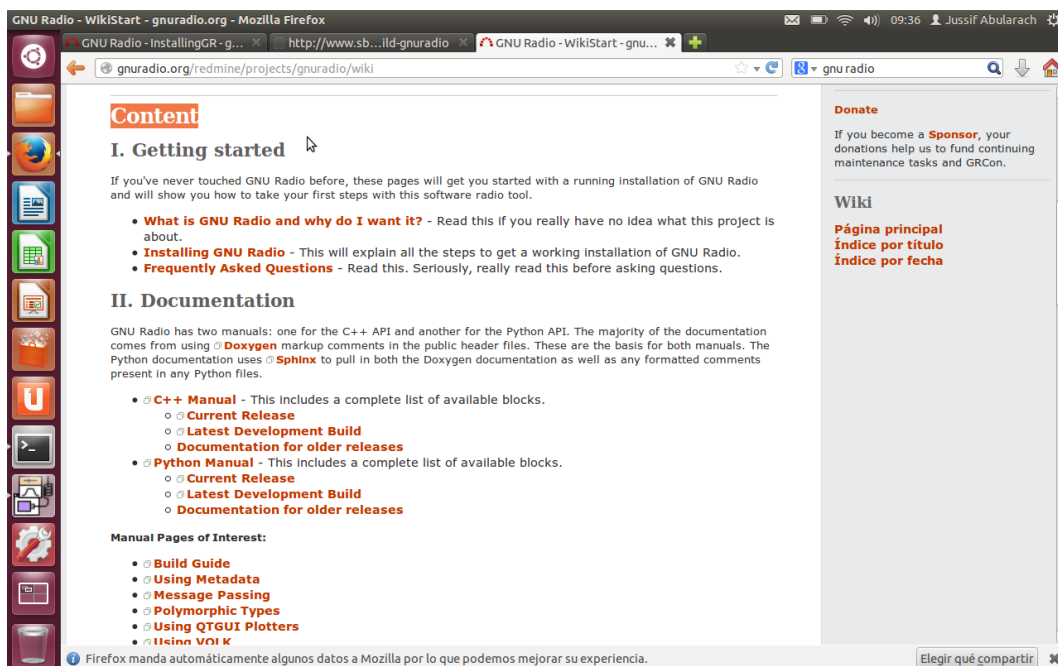


Fig. 135 Tópico CONTENT

Na nova janela, *Installing GNU Radio* procurar o tópico *Using the Build-Gnuradio Script*, neste dar click em **BUILD-GNURADIO**, na nova aba aberta tem-se um código de instalação a ser salvo em um dos diretórios que o usuário prefere, por exemplo, na pasta *Descargas*.

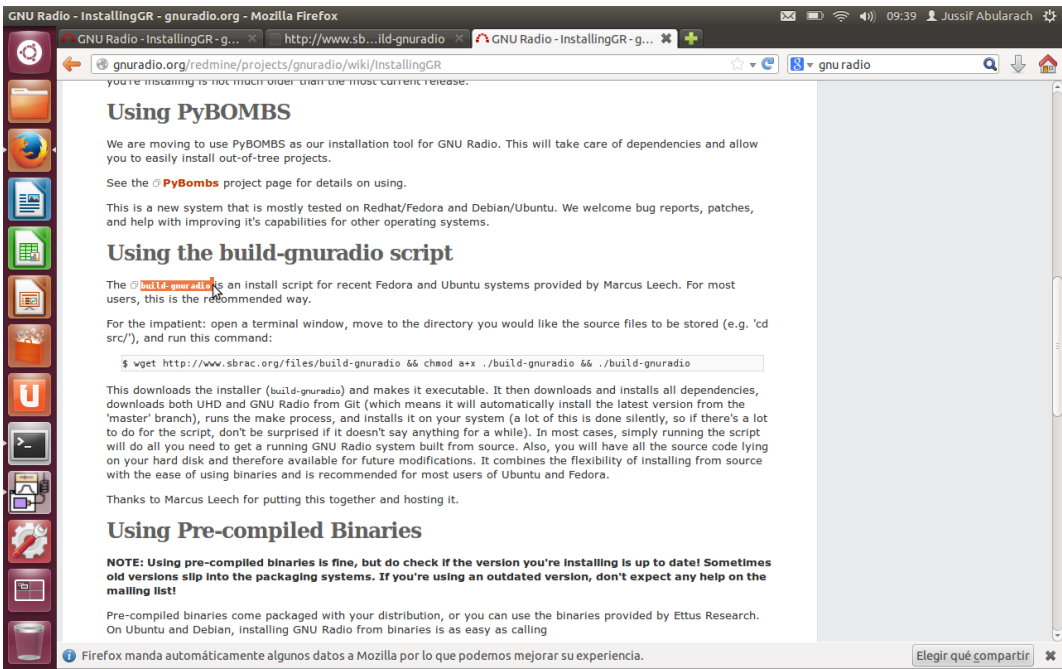


Fig. 136 Build GNU Radio

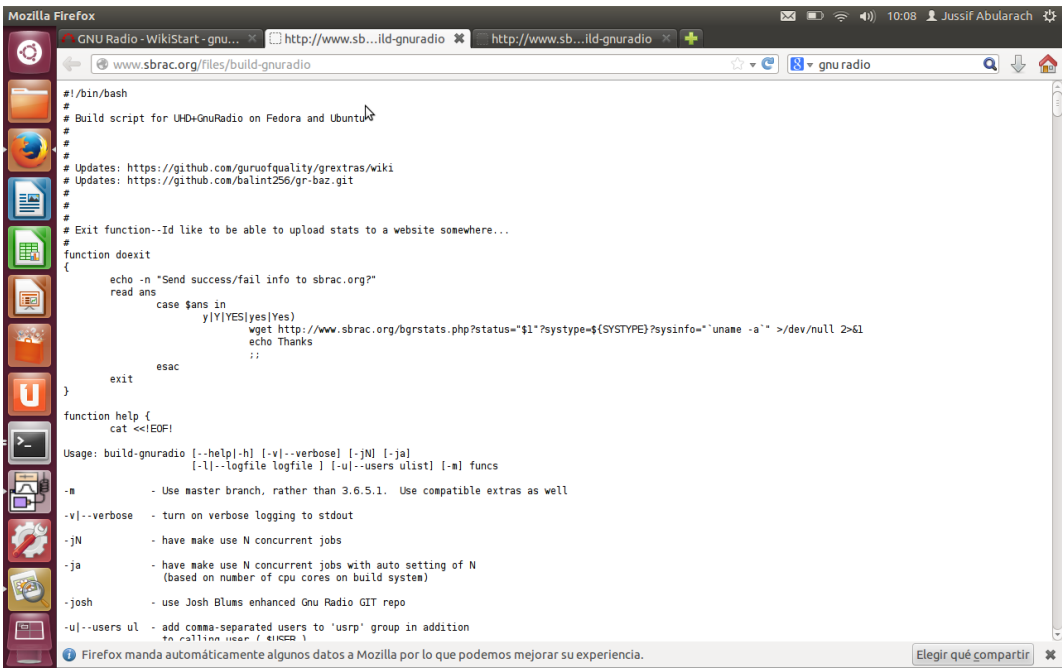


Fig. 137 Código do Script a salvar

Segundo Passo

Em um terminal de Ubuntu dirija-se ao diretório onde salvo o arquivo, no meu caso, tenho a pasta *Descargas* e nela esta o arquivo chamado **build-gnuradio**. Para executar este arquivo é necessário outorgar privilégios de execução ao *script* através da seguinte linha de comando.

\$ chmod a+x build-gnuradio

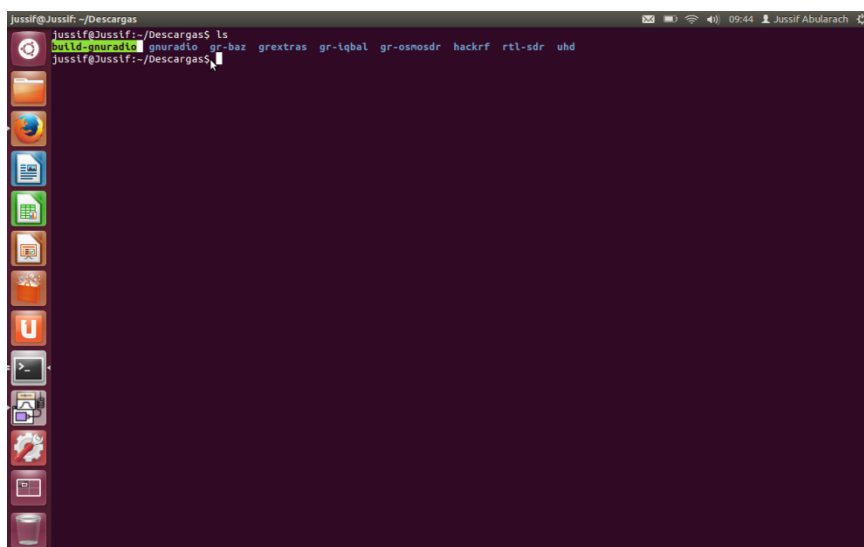


Fig. 138 Pasta Descargas e build-gnuradio

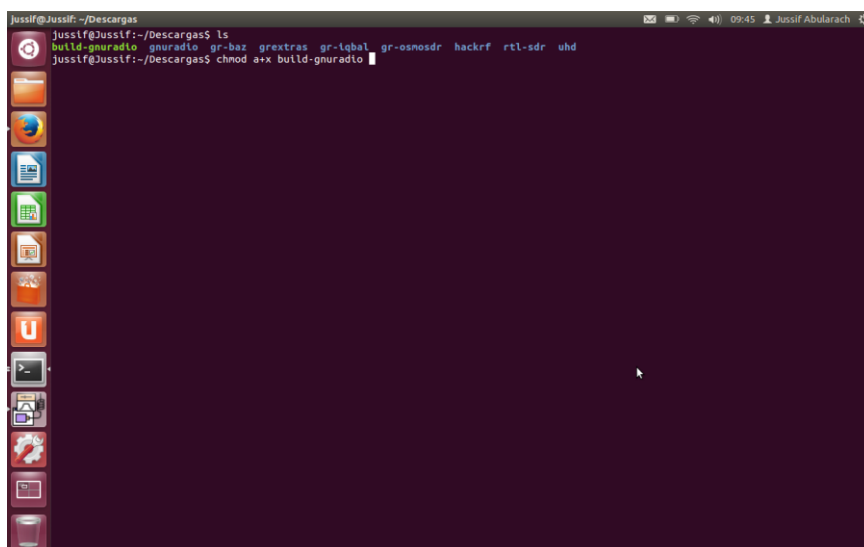


Fig. 139 Autorização e Privilégios

Depois de haver inserido este comando, o arquivo **build-gnuradio** terá uma cor verde indicando que pode ser executado.

Terceiro Passo

Neste terceiro passo, executamos o arquivo através do seguinte comando.

\$./build-gnuradio

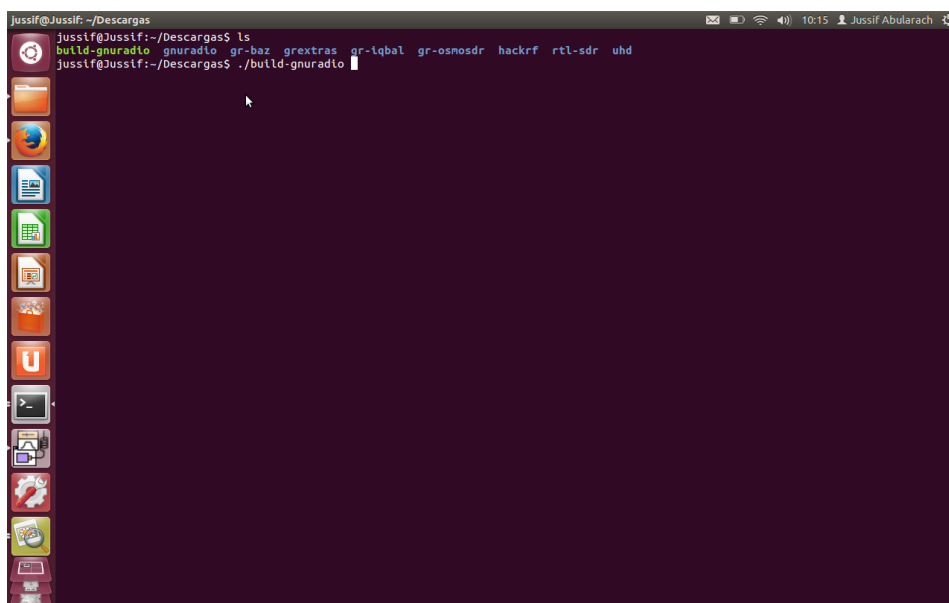


Fig. 140 Execução do script

Depois, aceitar todas as questões que apareceram no diálogo no terminal de Ubuntu. Uma vez feito isto vão se descarregar os pacotes e livrarias necessárias do programa GNU RADIO, instalando além disto, o software UHD e o programa GNU RADIO COMPANION versão 3.6.5. ou outra versão nova disponível.

Neste passo, simplesmente esperar até a instalação finalizar com sucesso e estar atentos no caso que esta apresente problemas, para começar a instalação desde o Primeiro Passo.

A.2

Indicadores LEDs da USRP

A USRP N210 apresenta na parte frontal seis LEDs marcados desde a letra A até a F como é apresentado na figura a seguir.



Fig. 141 LEDs USRP

A figura de acima, mostra os diferentes LEDS da USRP montados na parte frontal do equipamento. Cada um destes LED representa uma configuração do equipamento detalhada a seguir.

- **LED A.-** Este LED ascende-se quando a USRP esta transmitindo um sinal.
- **LED B.-** Este LED ascende-se quando tem-se instalado o cabo **MIMO Cable Link** utilizado para estabelecer a sincronização e comunicação entre dois o mais equipamentos.



Fig. 142 MIMO Cable Link



Fig. 143 Duas USRP em configuração Mimo

- **LED C.-** Este LED ascende-se quando a USRP está recebendo o sinal.
- **LED D.-** Este LED ascende-se quando tem se carregado corretamente o *firmware* do equipamento.
- **LED E.-** Este LED ascende-se quando tem se incorporado o módulo GPS na USRP.

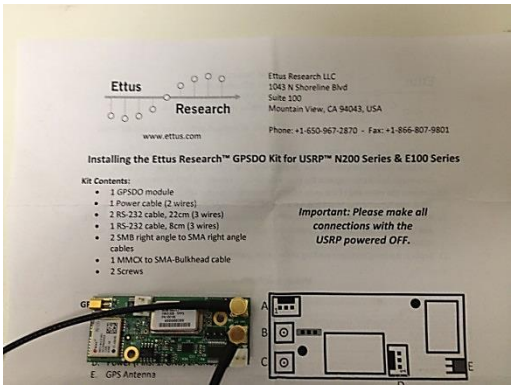


Fig. 144 Placa GPS

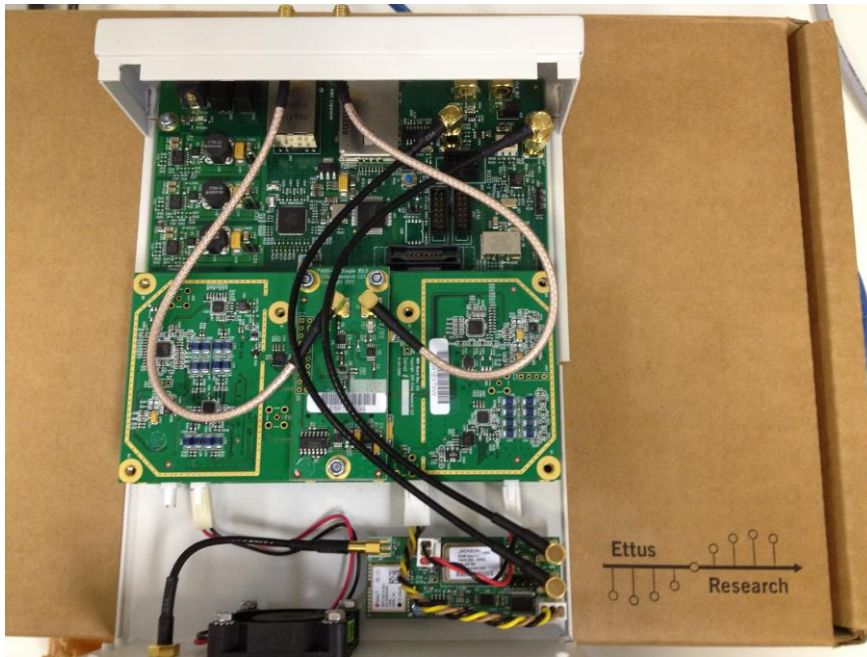


Fig. 145 Placa GPS montada na USRP N210

- **LED F.-** Este LED ascende-se quando o CPLD (*Complex Programmable Logic Devices*) do FPGA esta carregado corretamente no equipamento USRP. O CPLD contém as expressões lógicas responsáveis por fazer os cálculos matemáticos.

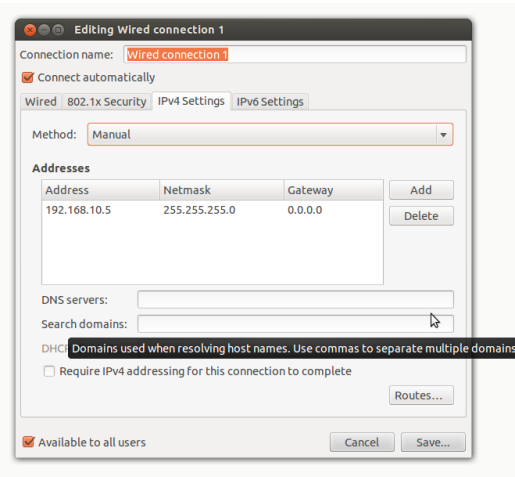
Os **LED D** e **LED E** são os mais importantes devido a que apresentam a configuração básica necessária do equipamento USRP sem tomar em conta qualquer outra configuração instalada no equipamento.

Para constatar se o *firmware* da UHD e o CPLD da FPGA foram instalados e carregados corretamente pode se visualizar a sequência de como os LEDs ascendem-se. Os LEDs seguem um padrão cuja sequência toma ao redor de 6 segundos em acontecer e depois de estar piscando por alguns segundos, os LED E, LED C, LED A ascendem-se seguindo essa ordem e piscando várias vezes. Enquanto o LED F fica estável, finalmente o LED D ascende-se e os ambos LED F e LED D ficam estáveis mostrando que foi feita uma correta instalação do UHD Firmware e do CPLD da FPGA.

A.3
Instalação firmware e configuração IP das USRP

Os equipamentos de rádio USRP precisam ser configurados e carregados com os seus respectivos *firmware* já seja UHD ou OPEN CPI que podem ser instalados utilizando o sistema operacional Windows (Matlab) ou o sistema operacional Ubuntu – Linux desde o terminal.

Antes instalar o *firmware* na USRP teve que ser configurado os parâmetros de rede em UBUNTU – Linux, considerando os seguintes endereços IP.



Endereços IP		
Endereço	Network	Gateway
192.168.10.5	255.255.255.0	0.0.0.0

Fig. 146 Configuração do Endereço IP (Ubuntu - Linux)

Depois, abrir um Terminal para começar a configurar o equipamento.

Ingressar o seguinte comando que permite visualizar os equipamentos conectados no computador. Contudo, ainda não temos feito nenhuma instalação do firmware da USRP, impossibilitando a comunicação entre o computador e a USRP.

```
$ cd uhd_find_devices
```

```

jussif@jussif-Vostro-3700:~$ uhd_find_devices
linux; GNU C++ version 4.6.3; Boost_104601; UHD_003.005.002-47-g4a86d74
-----
.. UHD Device 0
-----
Device Address:
  type: usrp2
  addr: 192.168.10.2
  name:
  serial: E2R20P1UP

```

Fig. 147 Identificando os Equipamentos conectados

Depois, instalar o *firmware* do equipamento, para isso é importante localizar no diretório onde esta disponível o firmware da USRP.

O diretório encontra-se na pasta apresentada a seguir:

```
$ cd /usr/local/lib/uhd/utils/
```

Utilizar o arquivo chamado `usrp_n2xx_net_burner.py` além do endereço IP do equipamento, que por defeito esta estabelecido como 192.168.10.2. A USRP comunica-se através da camada IP/UDP estabelecendo a interfase através do cabo Gigabit Ethernet.

Uma vez feito isto tem-se já carregado o *firmware* na USRP, logo depois a USRP vai se reiniciar e o LED D e LED F ao piscar indicaram que já se tem instalado o UHD firmware e o CPLD no equipamento.

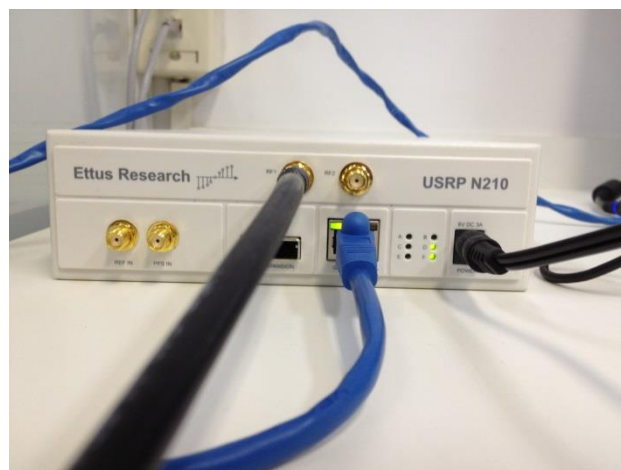


Fig. 148 LED D e LED F acesos

É importante mencionar o custo computacional que realiza o computador ao estabelecer a conexão (transmissão e recepção) ao utilizar a USRP, saturando o computador (memória RAM). Por isso, sugere-se utilizar apenas uma USRP por computador.

A.4 Calibração da USRP

Principalmente existem dois critérios para fazer a calibração, um deles tem a ver com a potência de transmissão do equipamento que depende do ajuste do ganho (0 dB até 31 dB) da potência de transmissão e das características da placa filha (*daughterboard*) montada na placa mãe (*motherboard*). O segundo parâmetro de calibração tem a ver com a frequência (*phase imbalance*) apresentados nos setores de *quadrature* e *complex mixer* montados no equipamento.

A calibração permite diminuir a aparição de vazamento (*leakage*) no oscilador local que produzem espúrios dentro e fora de banda (*spurious in band e out band*). Além disso, a calibração mitiga a aparição do DC offset, onde o sinal de fase e quadratura (I e Q) esta deslocada e o sinal não aparece centrada em zero.

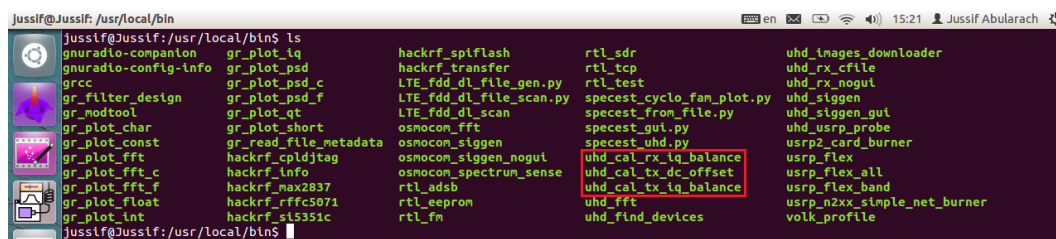
Com o propósito de reduzir os problemas apresentados anteriormente, é importante utilizar os programas carregados por default dentro da pasta de livreria do software da USRP, o UHD.

Estes programas são mencionados a seguir:

- UHD_CAL_RX_IQ_BALANCE
- UHD_CAL_TX_DC_OFFSET
- UHD_CAL_TX_IQ_BALANCE

A seguir apresenta-se a linha de comando para acessar a pasta.

\$ cd /usr/local/bin/



```
jussif@Jussif: /usr/local/bin
jussif@Jussif: /usr/local/bin$ ls
gnuradio-companion  gr_plot_iq          hackrf_spiflash      rtl_fm
gnuradio-config-info gr_plot_psd         hackrf_transfer      rtl_tcp
grcc                gr_plot_psd_c       LTE_fdd_dl_file_gen.py rtl_test
gr_filter_design    gr_plot_psd_f       LTE_fdd_dl_file_scan.py specest_cyclo_fan_plot.py
gr_modtool          gr_plot_qt          LTE_fdd_dl_scan      specest_from_file.py
gr_plot_char        gr_plot_short       osmocon_fft          specest_gui.py
gr_plot_const       gr_read_file_metadata osmocon_siggen       specest_uhd.py
gr_plot_fft         hackrf_cpldntag     osmocon_siggen_nogui uhd_cal_rx_iq_balance
gr_plot_fft_c       hackrf_info          osmocon_spectrum_sense uhd_cal_tx_dc_offset
gr_plot_fft_f       hackrf_max2837      rtl_adsb             uhd_cal_tx_iq_balance
gr_plot_float       hackrf_rffcs071     rtl_eeprom           uhd_fft
gr_plot_int         hackrf_sl5351c      rtl_fm               uhd_find_devices
                    uhd_images_downloader
                    uhd_rx_cfile
                    uhd_rx_nogui
                    uhd_siggen
                    uhd_siggen_gui
                    uhd_usrp_probe
                    usrp2_card_burner
                    usrp_flex
                    usrp_flex_all
                    usrp_flex_band
                    usrp_n2xx_simple_net_burner
                    volk_profile
```

Fig. 149 Programas de Calibração

A calibração do equipamento USRP tem que ser feita sem a utilização das antenas, pois cada vez que o equipamento seja utilizado, este vai executar automaticamente as medições salvas por defeito no arquivo de calibração com o propósito de diminuir os problemas de vazamento e de DC offset.

A seguir, apresentam-se as figuras que descrevem o processo de calibração do equipamento de radio USRP considerando um passo de 1 MHz (freq_step) entre as frequências 700 MHz (freq_start) e 705 MHz (freq_stop). Para isto foi necessário utilizar os arquivos chamados *uhd_cal_tx_dc_offset* e o arquivo *uhd_cal_tx_iq_balance* disponíveis no diretório de GNU Radio.

```
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$ uhd_cal_tx_dc_offset --v --freq_start=700e+6 --freq_stop=705e+6 --freq_step=1e+6

jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$ uhd_cal_tx_dc_offset --v --freq_start=700e+6 --freq_stop=705e+6 --freq_step=1e+6
linux; GNU C++ version 4.6.3; Boost_104601; UHD_003.005.002-47-g4a86bd74

Creating the usrp device with: ...
-- Opening a USRP2/N-Series device...
-- Current recv frame size: 1472 bytes
-- Current send frame size: 1472 bytes
-- Detecting internal GPSDO.... Found a Jackson Labs GPS
-- Found
-- Setting references to the internal GPSDO
-- Initializing time to the internal GPSDO
-- Loaded /home/jussif/.uhd/cal/tx_dc_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv
TX DC: 700.000000 MHz: lowest offset -13.508561 dB, corrected 1.156515 dB
TX DC: 700.998168 MHz: lowest offset -13.170611 dB, corrected 1.075460 dB
TX DC: 701.999389 MHz: lowest offset -13.210592 dB, corrected 1.100909 dB
TX DC: 702.997558 MHz: lowest offset -13.283413 dB, corrected 1.154807 dB
TX DC: 703.998779 MHz: lowest offset -13.175312 dB, corrected 1.133627 dB
TX DC: 705.000000 MHz: lowest offset -13.109422 dB, corrected 1.100019 dB
wrote cal data to "/home/jussif/.uhd/cal/tx_dc_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv"
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$
```

Fig. 150 Calibração do Equipamento de Rádio USRP

```
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$ uhd_cal_tx_iq_balance --v --freq_start=700e+6 --freq_stop=705e+6 --freq_step=1e+6

jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$ uhd_cal_tx_iq_balance --v --freq_start=700e+6 --freq_stop=705e+6 --freq_step=1e+6
linux; GNU C++ version 4.6.3; Boost_104601; UHD_003.005.002-47-g4a86bd74

Creating the usrp device with: ...
-- Opening a USRP2/N-Series device...
-- Current recv frame size: 1472 bytes
-- Current send frame size: 1472 bytes
-- Detecting internal GPSDO.... Found a Jackson Labs GPS
-- Found
-- Setting references to the internal GPSDO
-- Initializing time to the internal GPSDO
-- Loaded /home/jussif/.uhd/cal/tx_iq_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv
TX IQ: 700.000000 MHz: best suppression 66.682420 dB, corrected 21.644983 dB
TX IQ: 700.998168 MHz: best suppression 69.234589 dB, corrected 20.988709 dB
TX IQ: 701.999389 MHz: best suppression 61.613604 dB, corrected 17.232727 dB
TX IQ: 702.997558 MHz: best suppression 72.256258 dB, corrected 26.142049 dB
TX IQ: 703.998779 MHz: best suppression 76.456369 dB, corrected 30.768258 dB
TX IQ: 705.000000 MHz: best suppression 75.666773 dB, corrected 27.976997 dB
wrote cal data to "/home/jussif/.uhd/cal/tx_iq_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv"
jussif@jussif-Vostro-3700: /usr/local/bin$
```

Fig. 151 Calibração do Equipamento de Rádio USRP

Para diminuir a saturação no amplificador da USRP é necessário executar o arquivo *uhd_cal_tx_dc_offset*, que salvará as leituras no arquivo *tx_dc_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv*. Uma vez que a USRP esteja sendo usado nas faixas definidas na calibração, este vai se basear nas medições realizadas.

De igual modo acontece quando se realiza o balanceamento das componentes em fase e quadratura do sinal a ser transmitido. Para isso utiliza-se o arquivo *uhd_cal_tx_iq_balance*, armazenando as medições realizadas no arquivo *tx_iq_cal_v0.2_E6R1EV7XM.csv*.

A.5 Testes dos Cenários das Medições

Nesta seção, são detalhados os cenários de testes desenvolvidos durante o período de medição.

O primeiro cenário de teste foi desenvolvido no laboratório do Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC) da PUC-RJ. Nestes primeiros testes de prova se levou em consideração pegar o sinal de TV digital transmitido pelas torres do morro de Sumaré. Este sinal foi recebido utilizando um receptor portátil de TV digital o qual esteve sendo interferido por uma USRP. A distância de separação entre o receptor de TV digital e a femtocélula (USRP) era entre 2 a 45 metros.

A seguir, apresenta-se o cenário de medição.

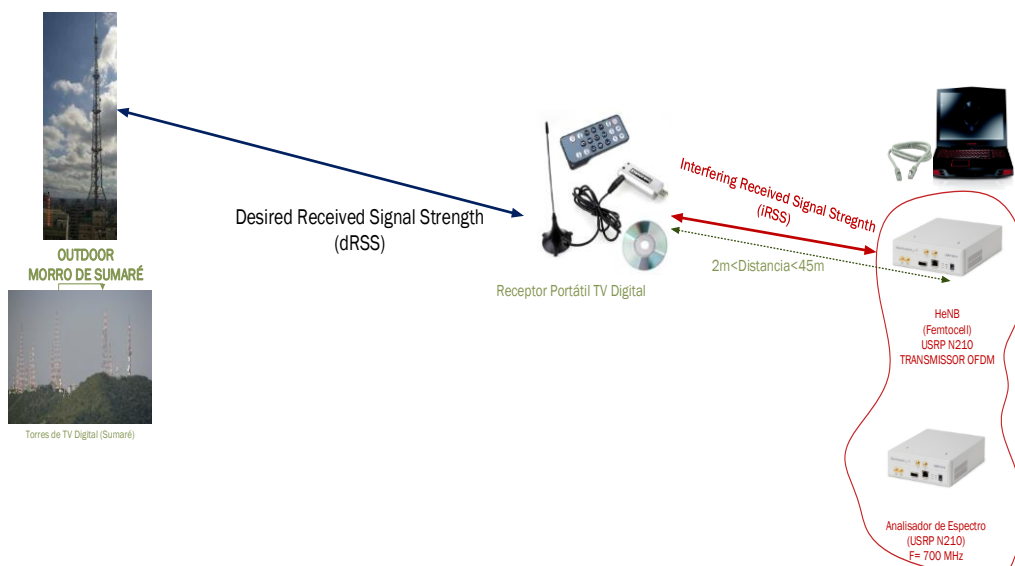


Fig. 152 Primer Set-up de Medição

Com o propósito de avaliar a correta transmissão do equipamento de rádio foi necessário utilizar outra USRP configurada como analisador de espectro utilizando o programa *uhd_fft.py* disponível no diretório da UHD.


```
$ cd usr/local/bin/uhd_fft.py
```

Este programa permite utilizar a USRP como um analisador de espectro, além de incluir outras funcionalidades como, por exemplo, espectrograma e osciloscópio.

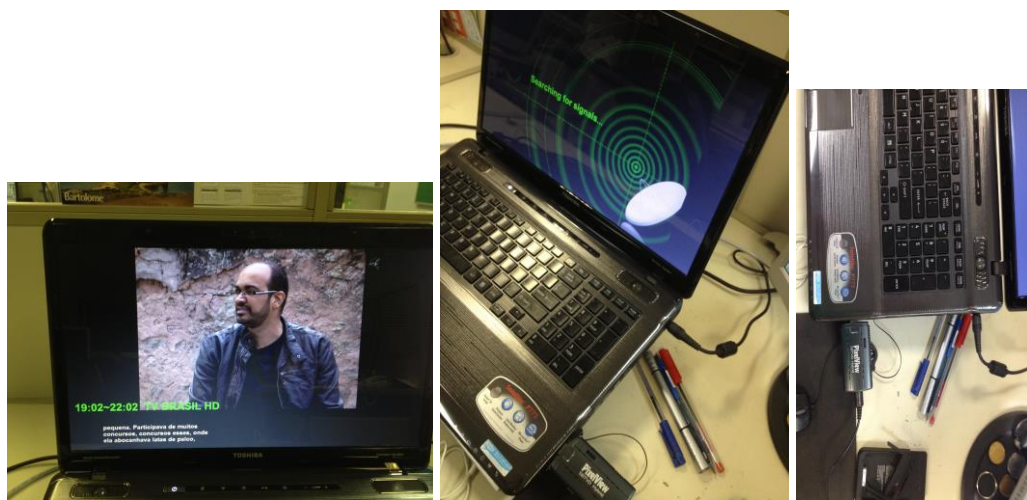


Fig. 153 Testes de Recepção

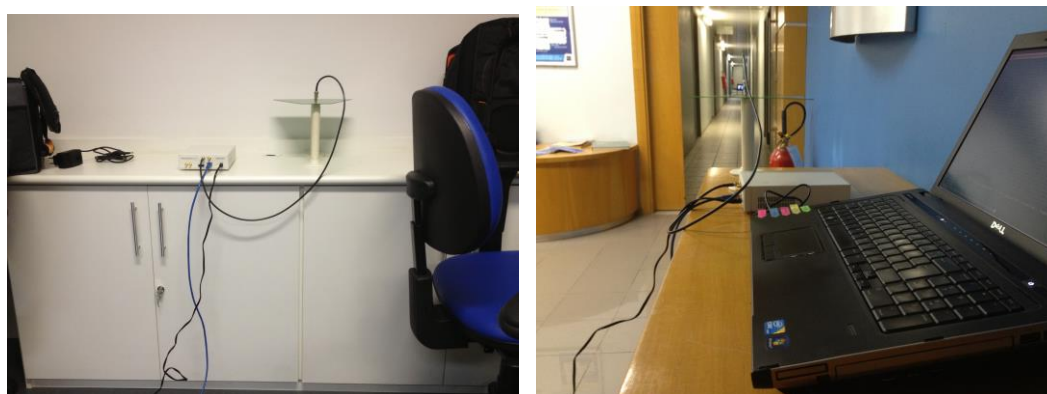


Fig. 154 Testes de Transmissão

Neste primeiro cenário, foi percebido que em 700 MHz e a uma distância de dois metros de separação entre o receptor portátil de TV digital e a USRP a recepção do sinal de TV digital não foi possível considerando uma potência máxima do equipamento de ao redor de 17 dBm.

Contudo, entando o receptor de TV digital foi se afastando o nível de interferência diminui, obtendo melhores resultados quando a distância de

separação era de aproximadamente 12 metros, pois foi possível receber o sinal de TV digital.

O nível de interferência diminuiu quando o deslocamento em frequência foi aumentando a um passo de 1 MHz, obtendo o melhor cenário de coexistência quando o interferente (equipamento USRP) operou em 705 MHz considerando a potência máxima do equipamento de rádio.

O segundo cenário de teste foi desenvolvido no laboratório do Inmetro (DIMCI/DITEL - Divisão de Metrologia em Telecomunicações) utilizando o gerador e analisador de sinal de TV digital configurados previamente segundo os critérios de transmissão e recepção exigidos pela ABNT.

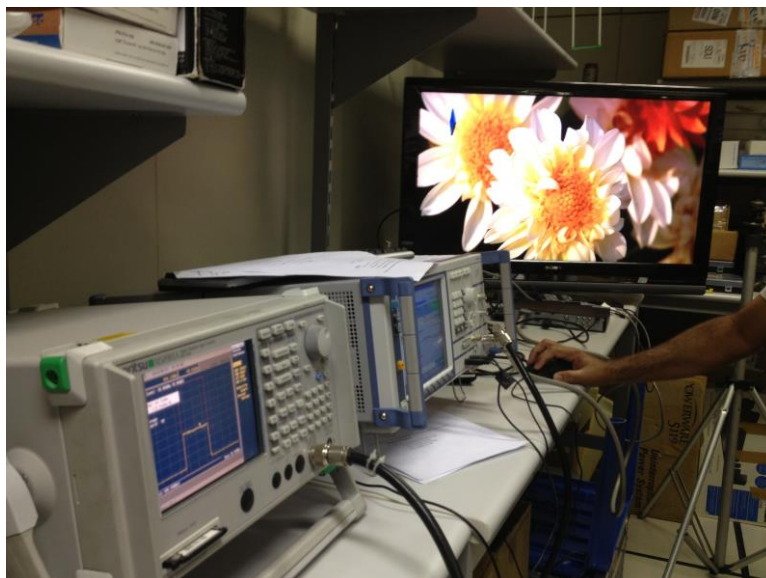


Fig. 155 Primeiros Testes em laboratório

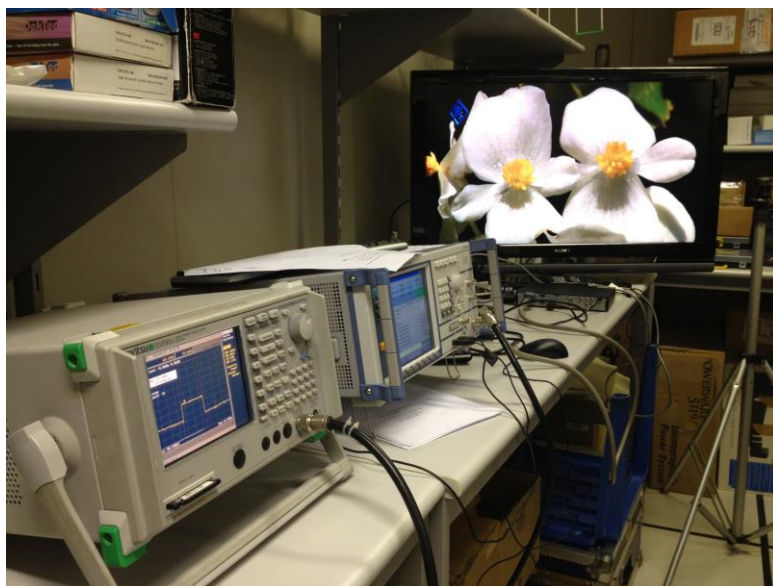


Fig. 156 Primeiros Testes em laboratório

Neste cenário foi avaliada apenas a configuração no transmissor de TV digital o desempenho dos diferentes esquemas de modulação (64 QAM, 16 QAM e QPSK) na faixa de 700 MHz. O propósito do teste foi avaliar o comportamento das modulações ante a interferência através das leituras dos parâmetros BER e da MER.

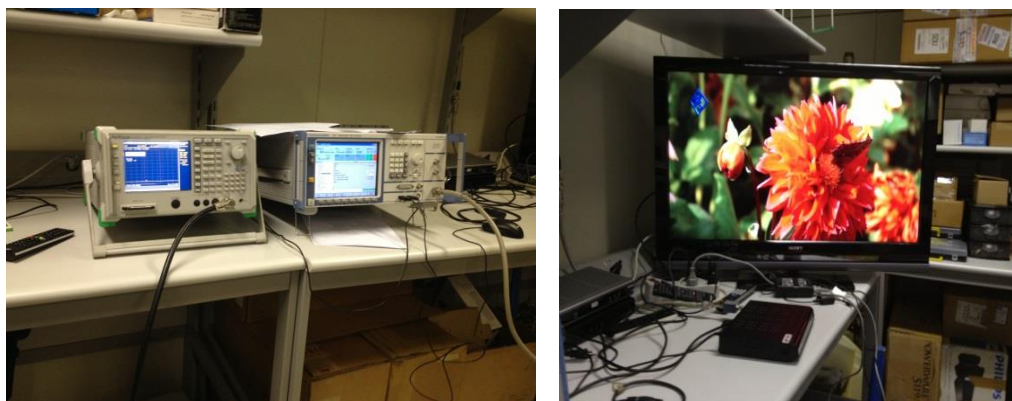


Fig. 157 Equipamento Transmissor e Receptor de TV Digital

Devido ao pequeno espaço do laboratório apenas foram realizadas as avaliações de interferência considerando uma distância de separação de até 15 metros entre o receptor de TV digital (STB) e a USRP sendo a altura média das antenas de aproximadamente 2 metros de altura.



Fig. 158 Antena Transmissora Log Periodic USRP



Fig. 159 Antenas Transmissora e Receptora de TV Digital

Neste segundo cenário de avaliação foi percebido que ao utilizar um esquema de modulação mais robusto ante a interferência, como é o caso da modulação QPSK, a interferência produzida pela LTE Femtocell USRP é consideravelmente menor, obtendo melhores resultados quando o interferente esteve operando em 705 MHz enquanto que a vítima esteve operando em 695 MHz (canal de TV digital 51).

Além disso, neste cenário também foi evidenciado que a modulação que mais sofre da interferência e apresenta maiores problemas na recepção do sinal de TV digital foi a modulação 64 QAM, obtendo valores da BER e da MER que não satisfazem os requisitos estabelecidos pela ABNT.

A.6

Exemplos desenvolvidos no GNU Radio Companion

A seguir são apresentados exemplos utilizando a ferramenta de simulação GNU Radio Companion e a USRP. Estes exemplos formam parte de tutoriais disponíveis no site da Ettus que foram de muita ajuda para entender mais um pouco sobre a utilização, configuração dos blocos do GRC e do funcionamento do equipamento de rádio.

Os exemplos apresentados correspondem aos seguintes cenários: Histereses, BER, Modulação QAM e ruído Gaussiano, gerando arquivos .dat no GRC para logo plotar os resultados obtidos e o receptor FM.

O primeiro exemplo corresponde à *Histereses*, a configuração dos blocos no fluxograma é apresentada na seguinte figura.

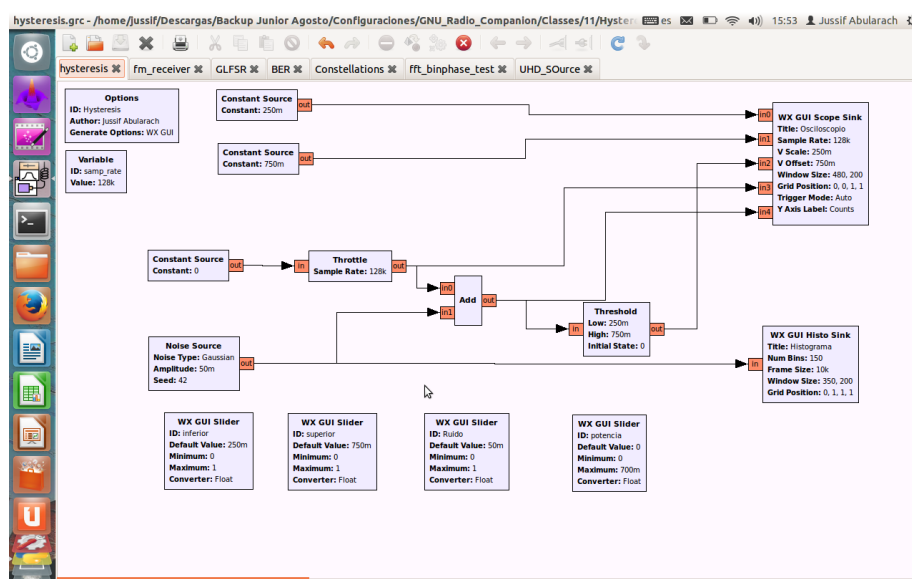


Fig. 160 Histereses GRC

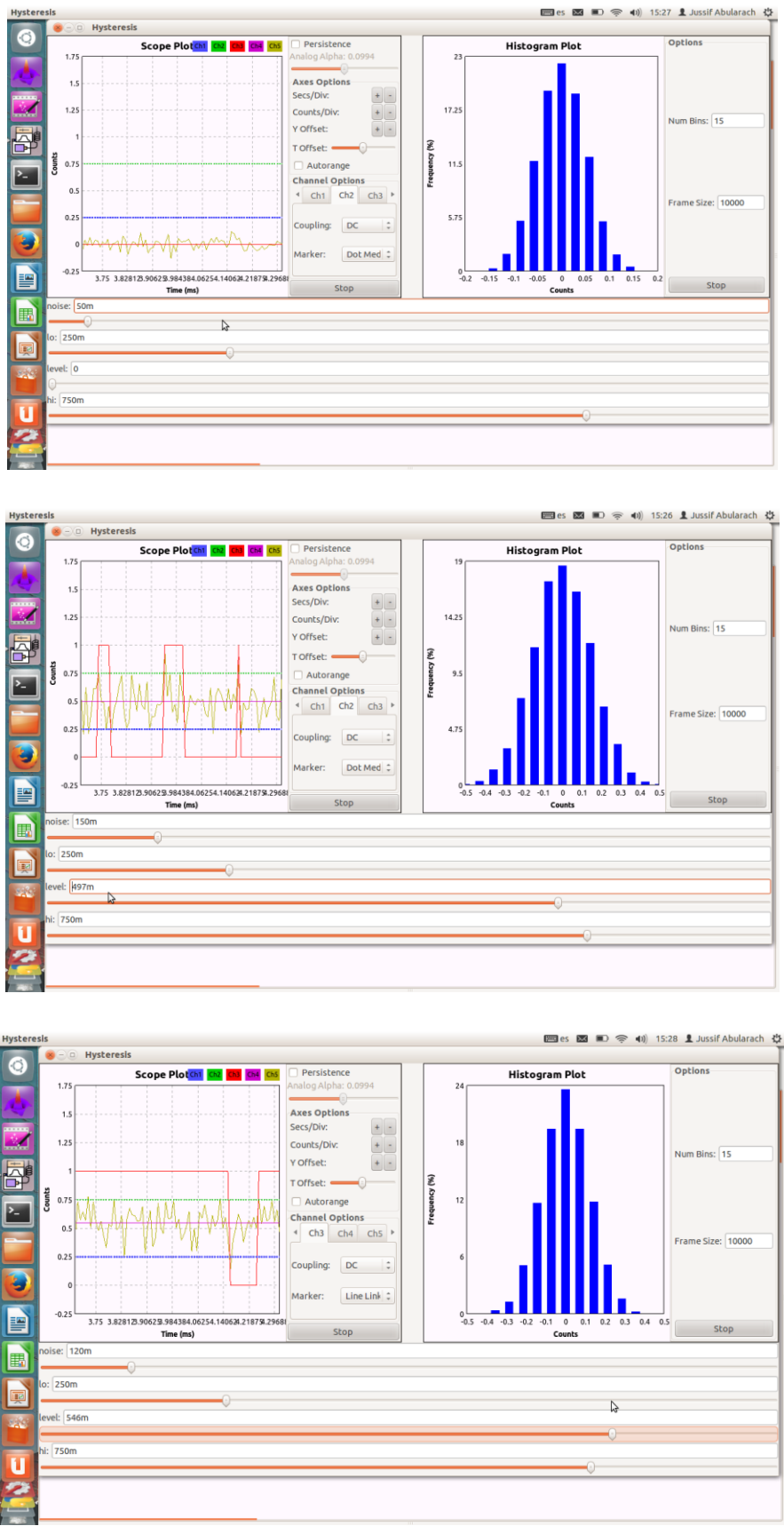


Fig. 161 Execução do Fluxograma

Da figura de acima, podem-se perceber 5 canais configurados no fluxograma (CH1, CH2, CH3, CH4, CH5) que representam: o CH 1 (pontos azuis) o limiar inferior de teste, o CH 2 (pontos verdes) o limiar superior, o CH 3 (linha vermelha) indica o valor igual a 0 quando o sinal mais o ruído não ultrapassam o limiar e 1 o caso contrário. O CH 4 (linha roxa) indica a potencia do sinal mais o ruído, e o CH 5 indica o comportamento do ruído gaussiano. Os canais CH1 ao CH5 podem mudar o seu valor durante o tempo de execução da simulação.

Neste cenário de simulação quando o sinal esteja abaixo do limiar inferior (inferior= 250m) o valor será de zero, caso contrário (interferência), maior ao limiar superior (superior= 750m) será igual a 1. Além disso, na figura se apresenta o histograma segundo a distribuição das amostras considerando o ruído Gaussiano.

O segundo exemplo corresponde ao cálculo da BER quando são transmitidos números randômicos utilizando a fonte GLFSR (*Galois Linear feedback Shift Register*). Esta transmissão será corrompida pela presença de ruído de distribuição uniforme e pela inclusão do operador XOR permitindo a avaliação e o cálculo da BER.

Além disso, utilizou-se um limiar com mesma funcionalidade do exemplo apresentado anteriormente mostrando valores de zeros ou uns quando o sinal ultrapassar o limiar.

A seguir, é apresentado o fluxograma no programa GRC.

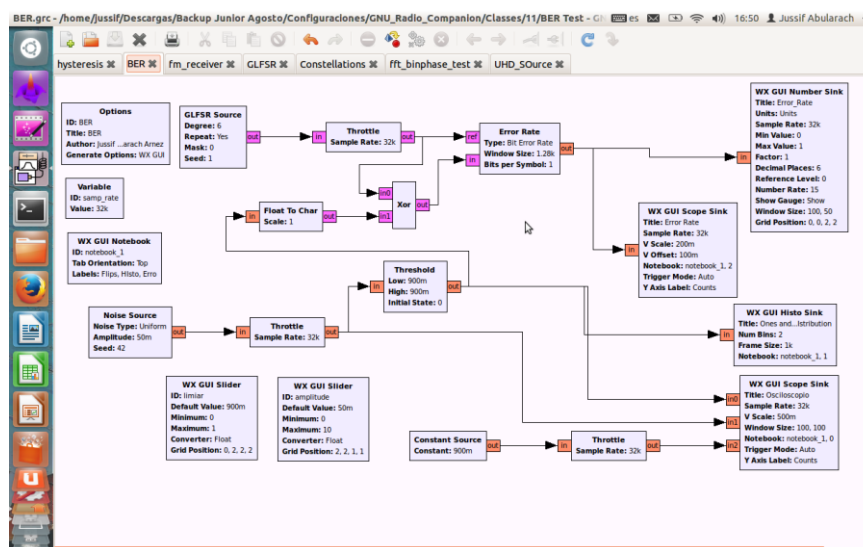


Fig. 162 Fluxograma no GRC

O resultado do fluxograma gera três gráficos, o osciloscópio, a percentagem de bit igual a zeros e a uns, e o último gráfico que apresenta os diferentes valores da BER segundo o comportamento do sinal.

O primeiro gráfico corresponde ao Osciloscópio que tem configurado três canais: o CH 1 representado pela linha azul vai permanecer igual a zero quando o ruído não ultrapassar o limiar estabelecido, no caso contrário pode se olhar picos cada vez que o ruído ultrapassar este limiar. O CH 2 representado pela linha verde correspondente ao ruído de distribuição uniforme. O CH 3 representado pela linha vermelha corresponde ao limiar que pode mudar de valor durante a execução do fluxograma. Além disso, tem-se uma janela que executa o cálculo da BER segundo o comportamento do sinal mais o ruído com respeito do valor do limiar.



Fig. 163 Fluxograma em Execução

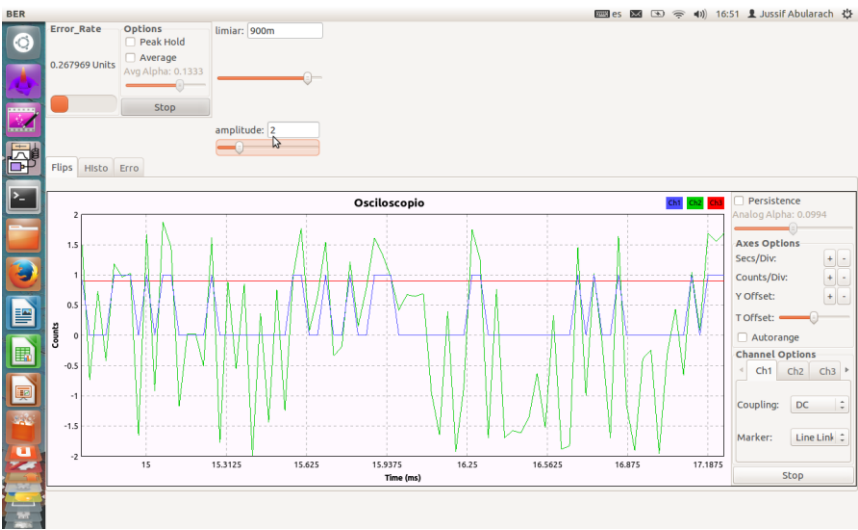


Fig. 164 Cálculo da BER

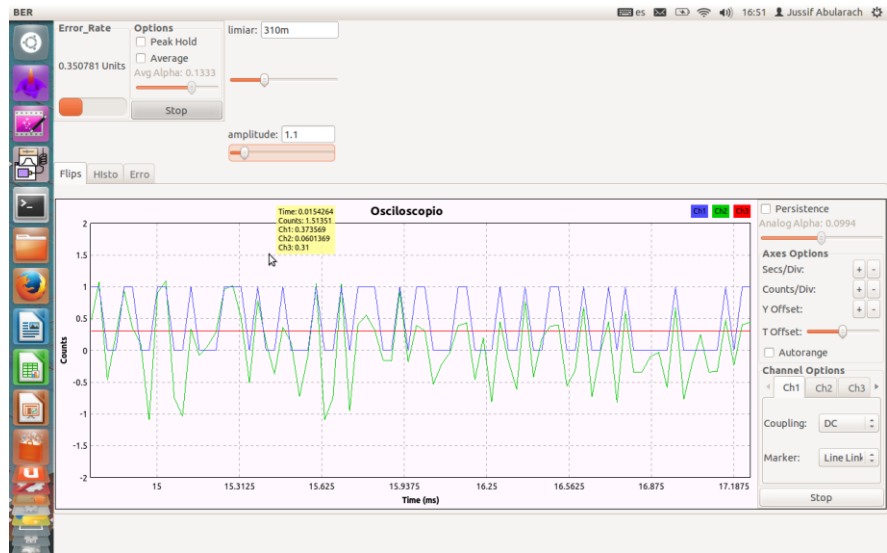


Fig. 165 Cálculo da BER (limiar próximo a zero)

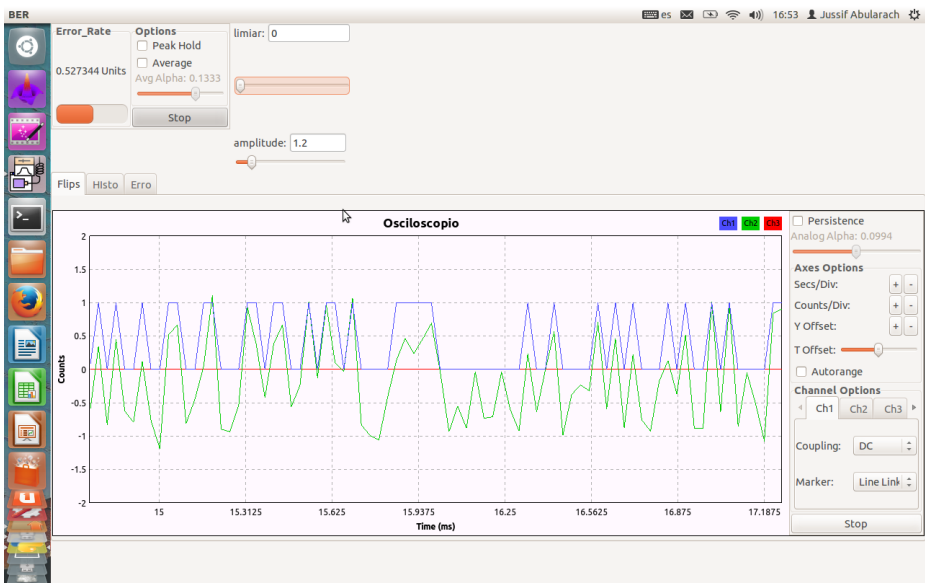


Fig. 166 Cálculo da BER (limiar igual a zero)

O segundo gráfico gerado pelo fluxograma, apresenta em percentagem a quantidade de bits iguais a zeros e uns gerados no fluxograma de simulação.

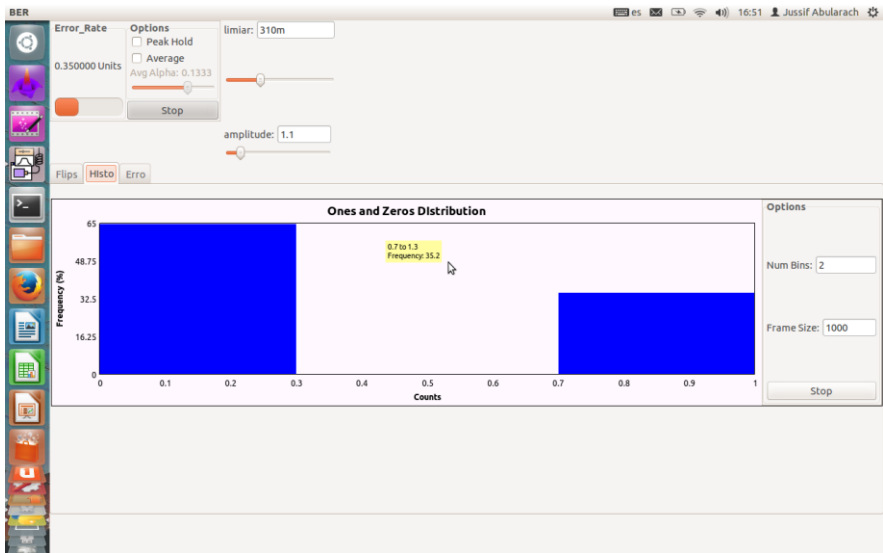


Fig. 167 Porcentagem de bit igual a 1 e 0 gerados (limiar 310m)

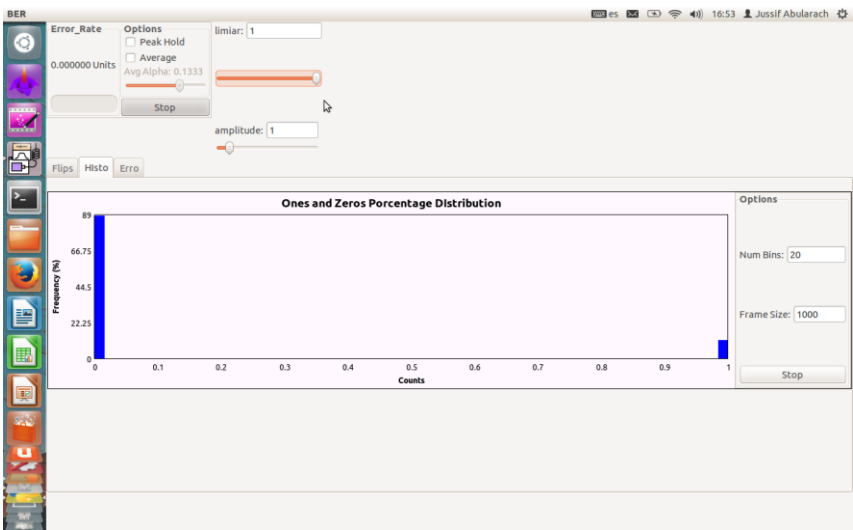


Fig. 168 Porcentagem de bit igual a 1 e 0 gerados (limiar 1)

O último gráfico apresenta os diferentes valores da BER segundo o comportamento do sinal sendo os mesmos valores calculados da BER e apresentados na janela chamada “Error_Rate”.

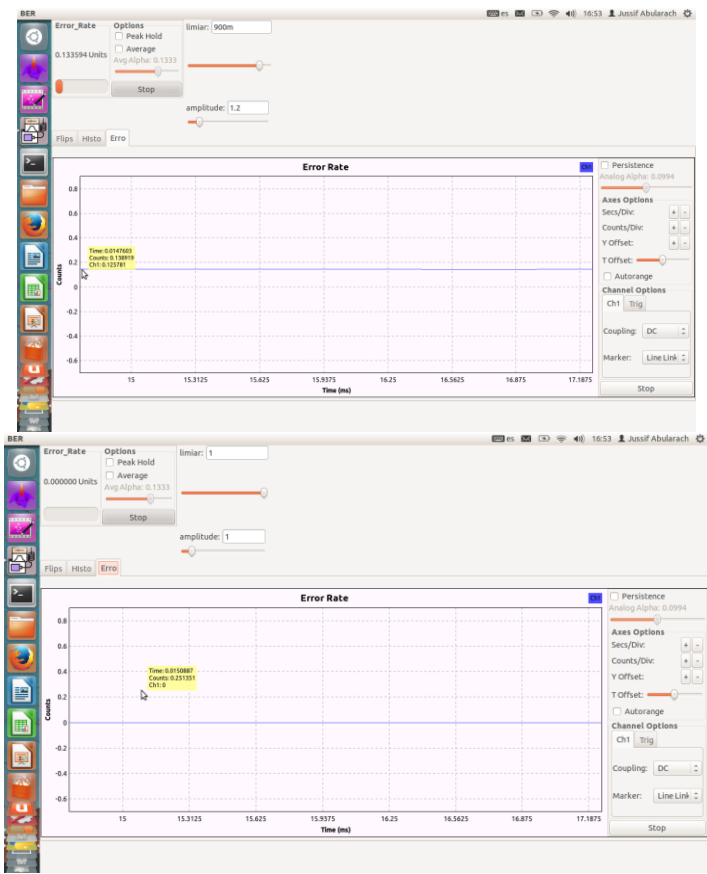


Fig. 169 Comportamento dos valores da BER

O terceiro exemplo se baseia na utilização da modulação DQPSK em presença de ruído Gaussiano. A continuação apresenta-se o fluxograma desenvolvido no GRC:

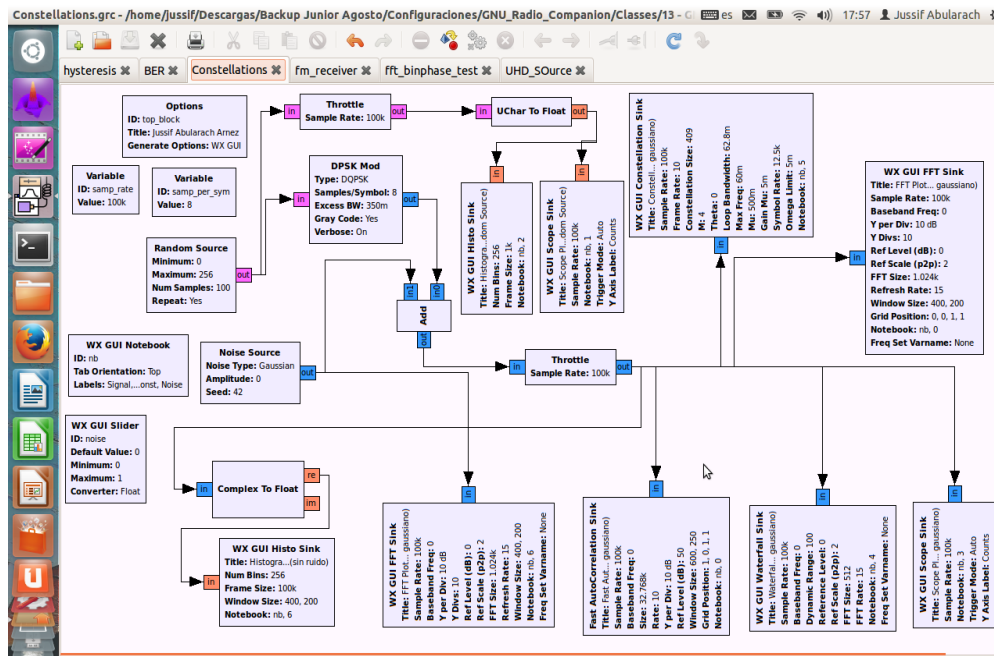


Fig. 170 Fluxograma

Os resultados gerados no fluxograma são apresentados nas seguintes figuras. A figura apresentada a seguir mostra a geração das amostras do sinal randômica que logo depois foram moduladas utilizando a modulação DQPSK.

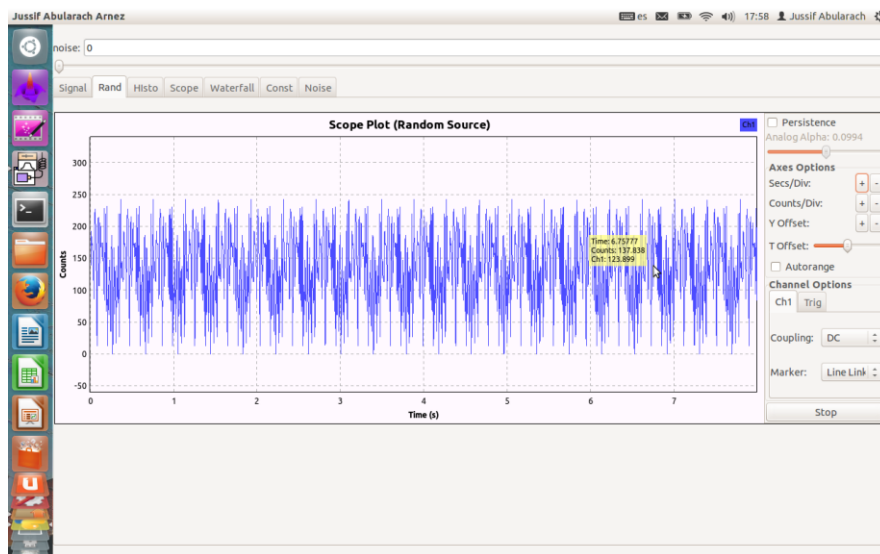


Fig. 171 Geração do Sinal Randômica

As figuras a seguir mostram o sinal em presença e não do ruído Gaussiano, mostrando o comportamento da constelação para uma modulação QPSK e dos sinais em fase e quadratura em presença de ruído.

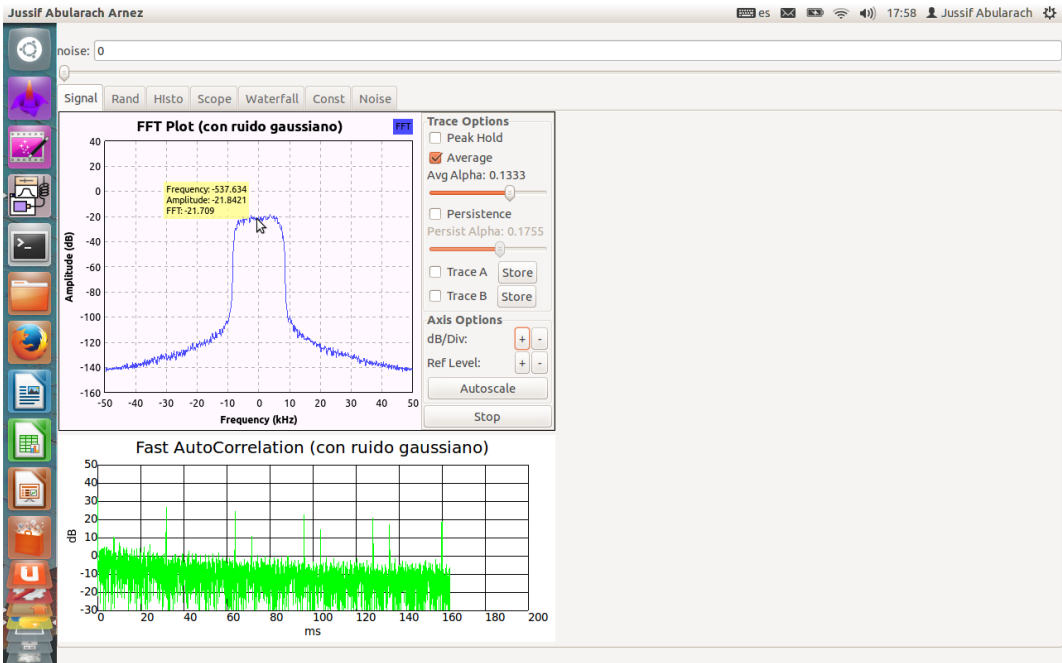


Fig. 172 Fast Autocorrelation sem Ruído Gaussiano

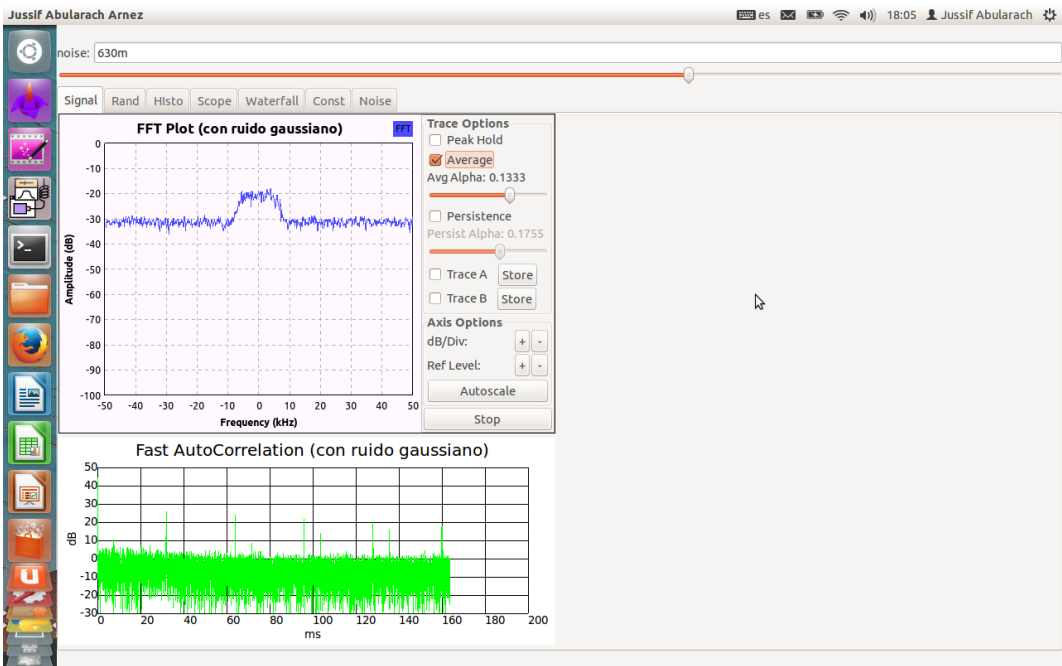


Fig. 173 FFT e Fast Autocorrelation em presença de Ruído Gaussiano

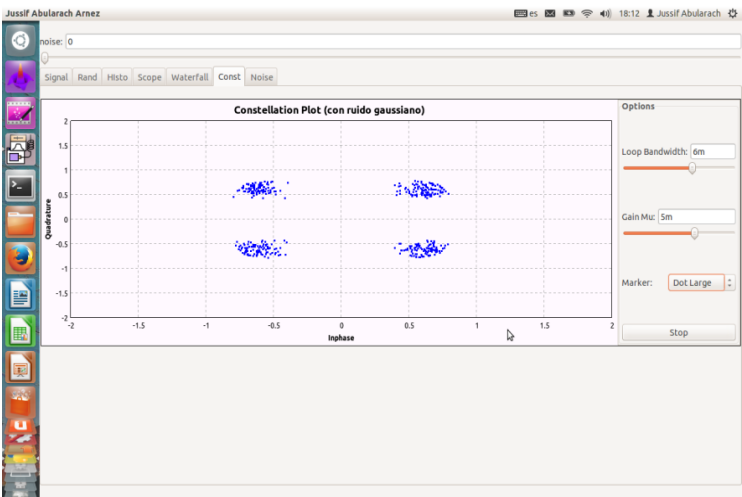


Fig. 174 Constelação da modulação QPSK sem Ruído Gaussiano

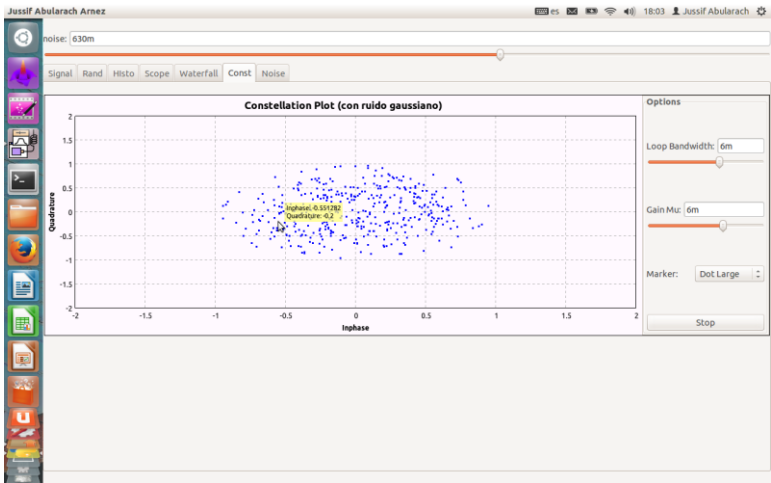


Fig. 175 Constelação da modulação QPSK em presença de Ruído Gaussiano

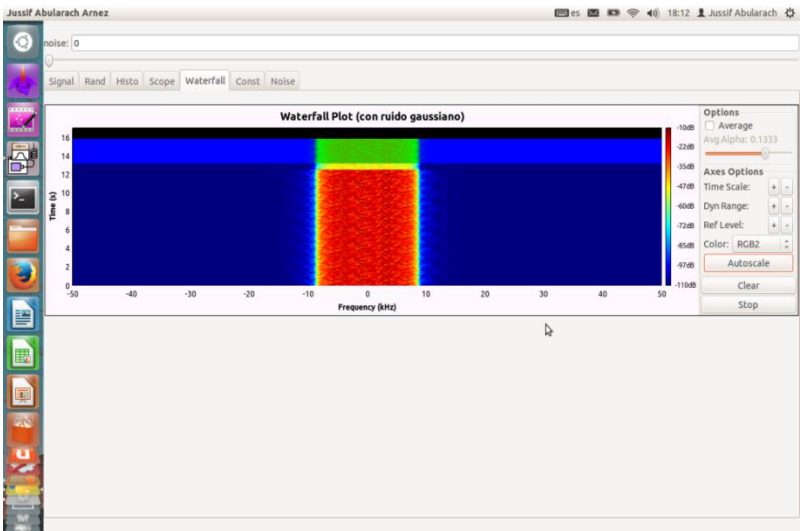


Fig. 176 Espectrograma sem Ruído Gaussiano

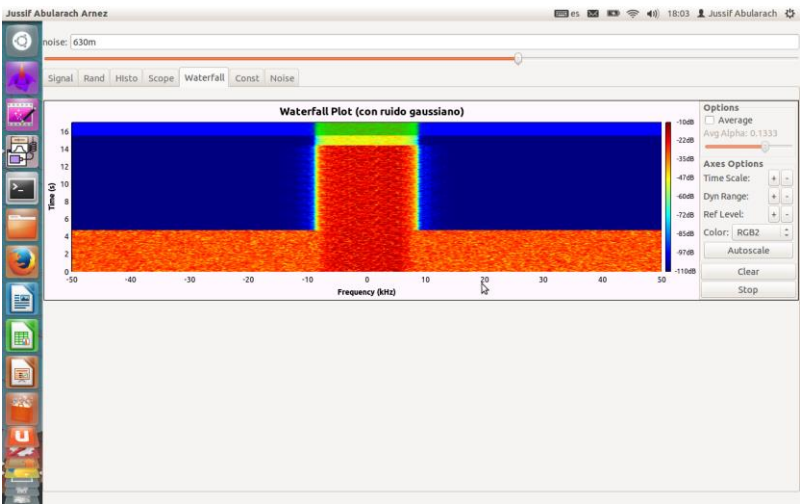


Fig. 177 Espectrograma em presença de Ruído Gaussiano

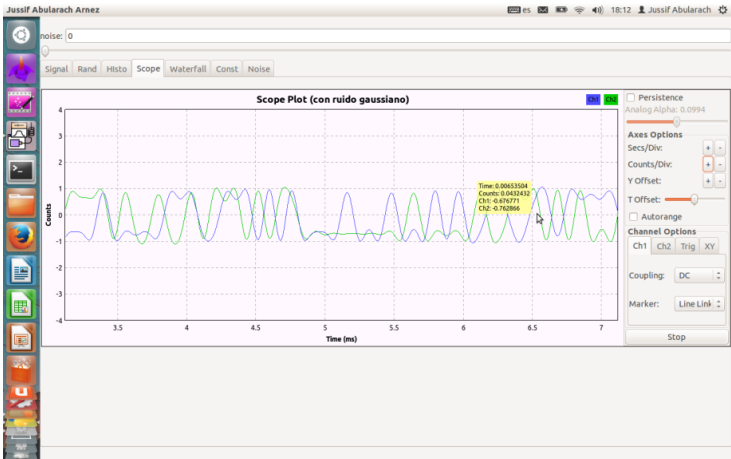


Fig. 178 Componentes em fase e quadratura do sinal DPSK sem Ruído Gaussiano



Fig. 179 Componentes em fase e quadratura do sinal DPQSK em presença de Ruído Gaussiano



Fig. 180 Histograma do Ruído Gaussiano

O seguinte exemplo é sobre a geração de arquivos .dat no programa GRC que utilizam as opções oferecidas pela ferramenta MatPlot para plotar os dados gerados no simulador.

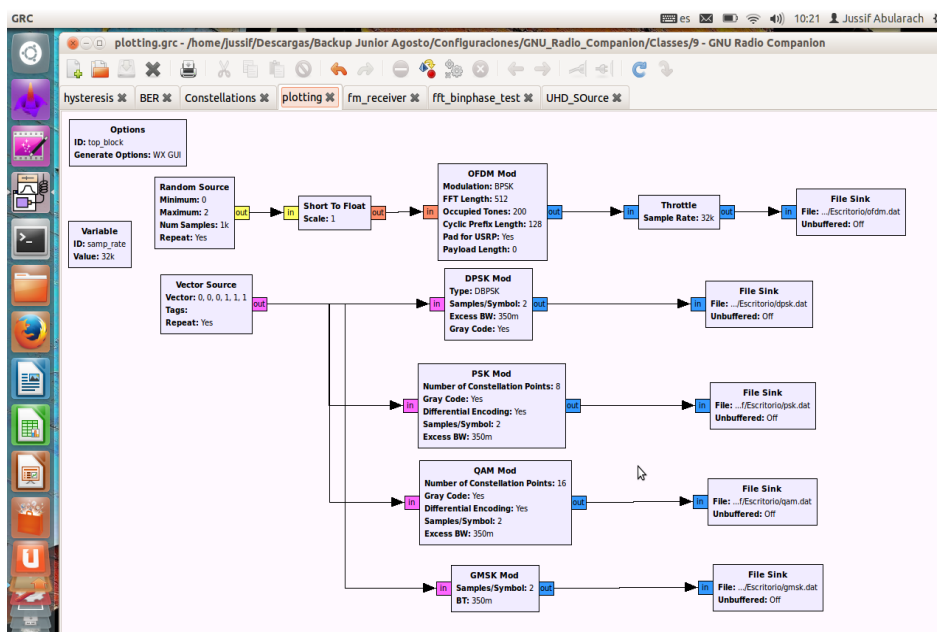


Fig. 181 Fluxograma em GRC

Depois de executar o fluxograma são criados os arquivos .dat para plotar os dados correspondentes a cada esquema de modulação configurado no fluxograma (OFDM, DPSK, DQPSK, 16QAM, 64QAM, GMSK).

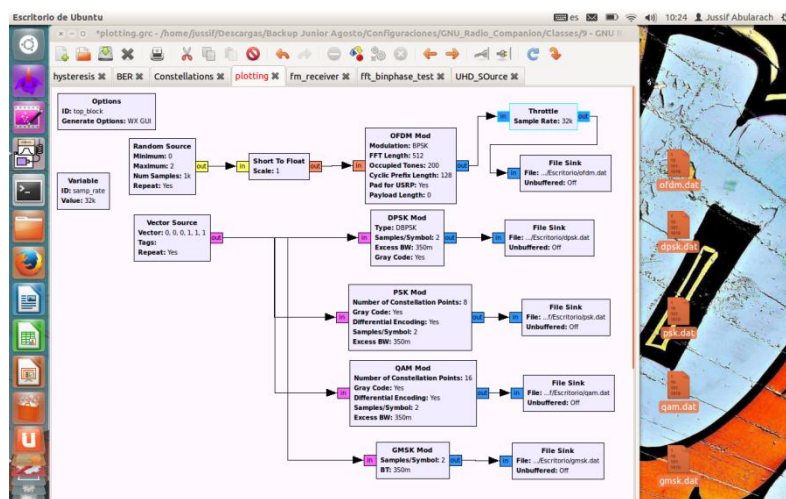


Fig. 182 Criação dos Arquivos .dat

Acessar no diretório do GNU Radio onde se têm os programas para plotar os arquivos gerados. Para isto, basta ingressar a seguinte pasta:

\$ jussif@Jussif: /usr/local/bin

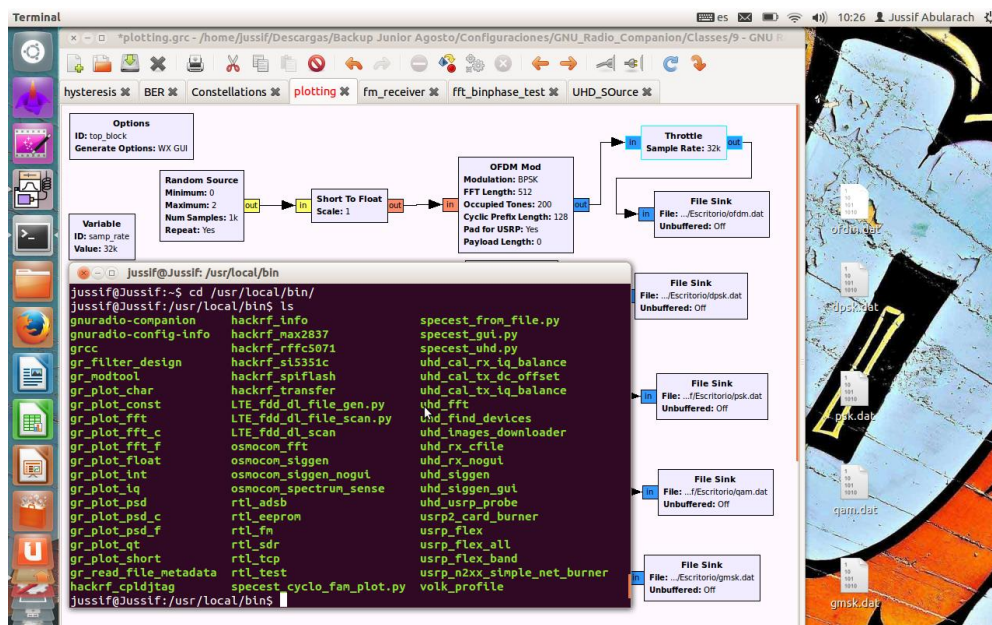


Fig. 183 Diretório em GRC

A seguir vai se apresentar as figuras que mostram a densidade espectral de potência de cada um das modulações utilizadas no fluxograma, dos seus componentes em fase e quadratura e suas respectivas constelações.

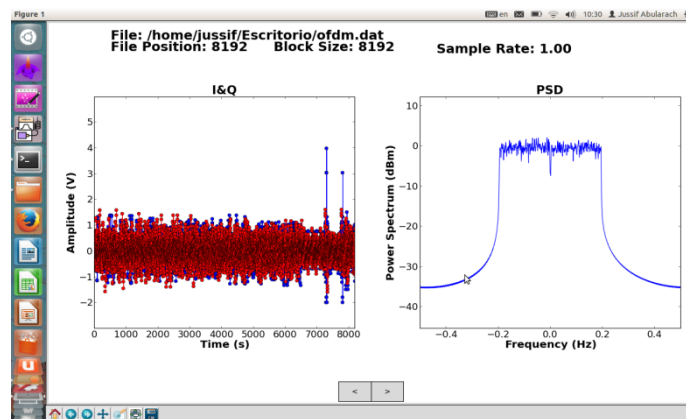


Fig. 184 Geração da densidade espectral de potência (OFDM)

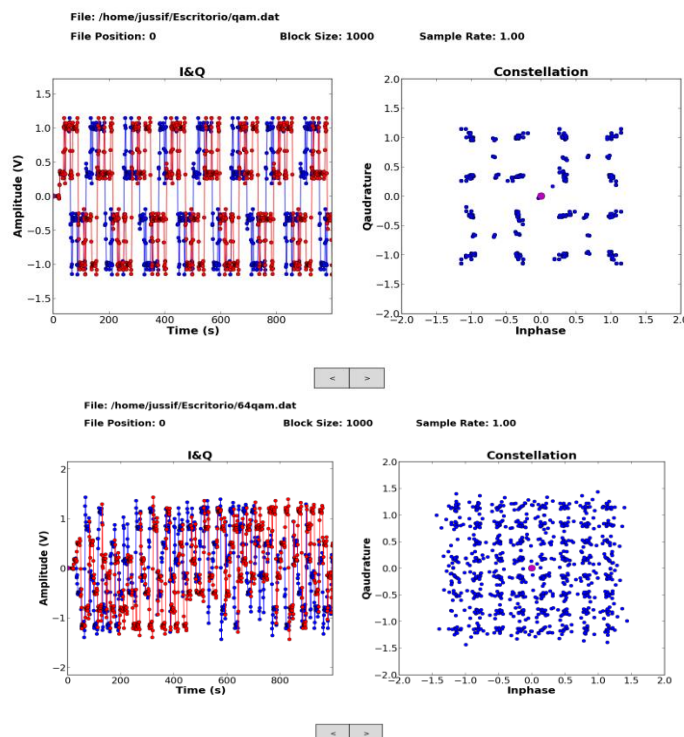
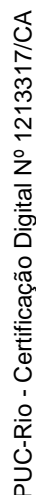


Fig. 185 Componentes em Fase e Quadratura, constelação 16 QAM e 64 QAM

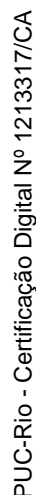
O seguinte exemplo mostra a utilização do GRC e do equipamento USRP. Este fluxograma representa um receptor FM no qual a USRP pega os sinais em banda base e o processo de demodulação (bloco WBFM) são realizados no computador a través dos blocos desenvolvidos no GRC.

Depois, o sinal demodulada é escutado a través do dispositivo de áudio do computador e gravado para posterior análise em um arquivo .wav.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213317/CA



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213317/CA



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213317/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1213317/CA

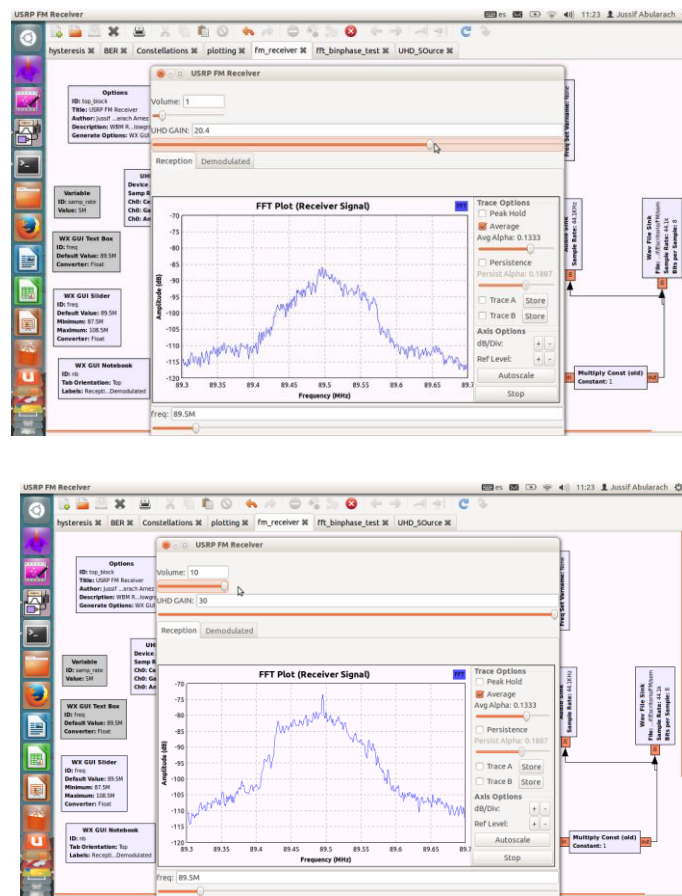


Fig. 188 Variação dos valores do ganho de recepção e volume em tempo de execução

Além disto, pode se variar em tempo de execução do fluxograma a emissora FM que se quer escutar. No ultimo gráfico pode se distinguir o sinal FM demodulado.

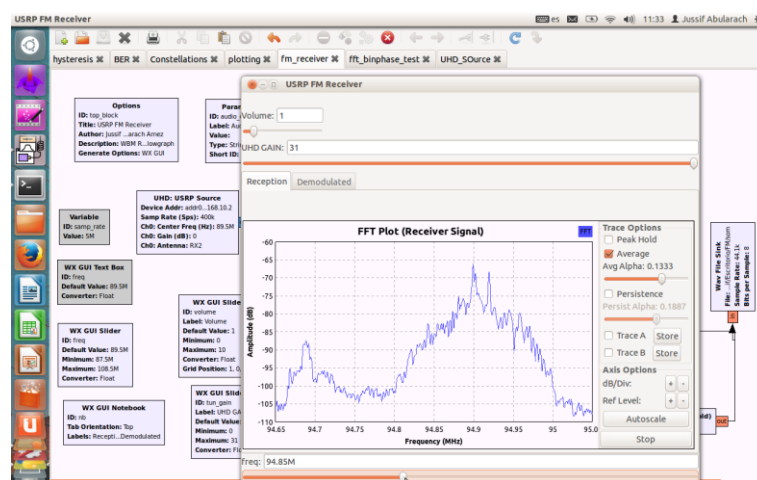


Fig. 189 Mudando de Emissora FM

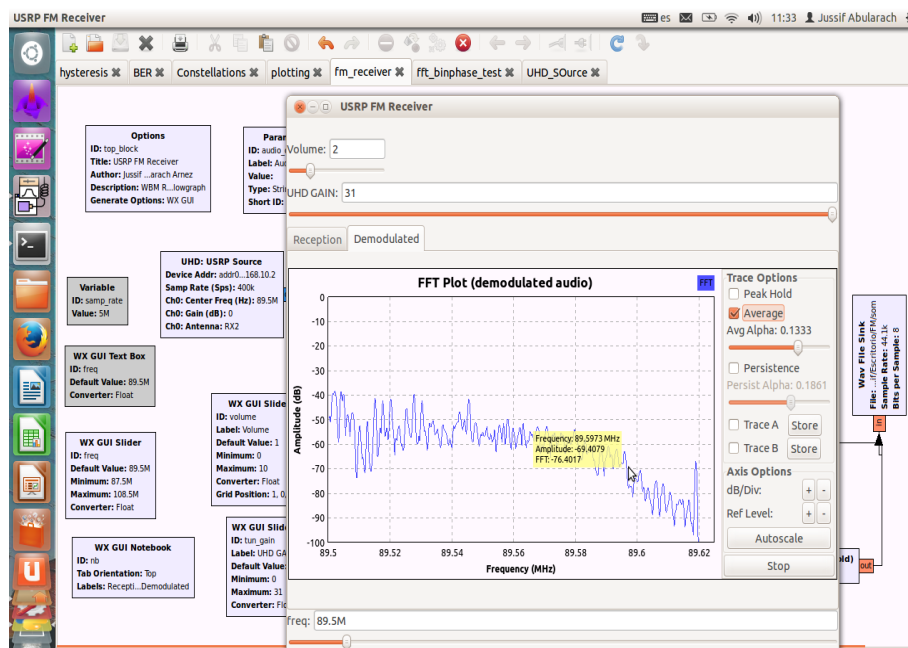


Fig. 190 Sinal FM demodulada

O exemplo a seguir é uma aplicação baseada em um sistema de comunicação *full duplex* utilizando duas USRP (transmissão e recepção) na banda de frequência de 2.4 GHz.

Neste exemplo, é considerada a utilização da modulação digital BPSK e do diagrama de blocos para calcular a taxa de erro (BER).

A seguir, são apresentados os fluxogramas do transmissor e do receptor desenvolvidos no programa GRC.

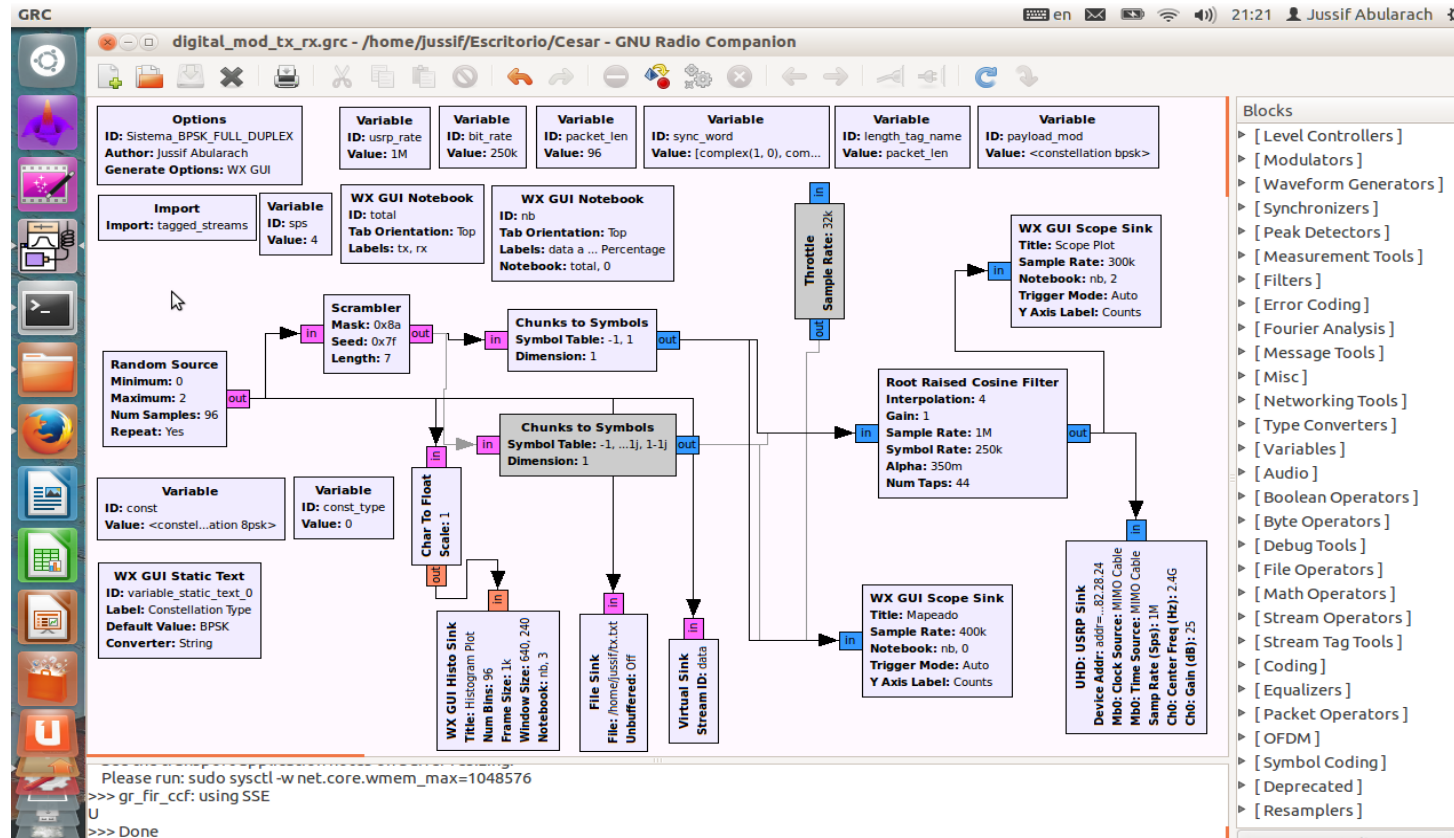


Fig. 191 Transmissor

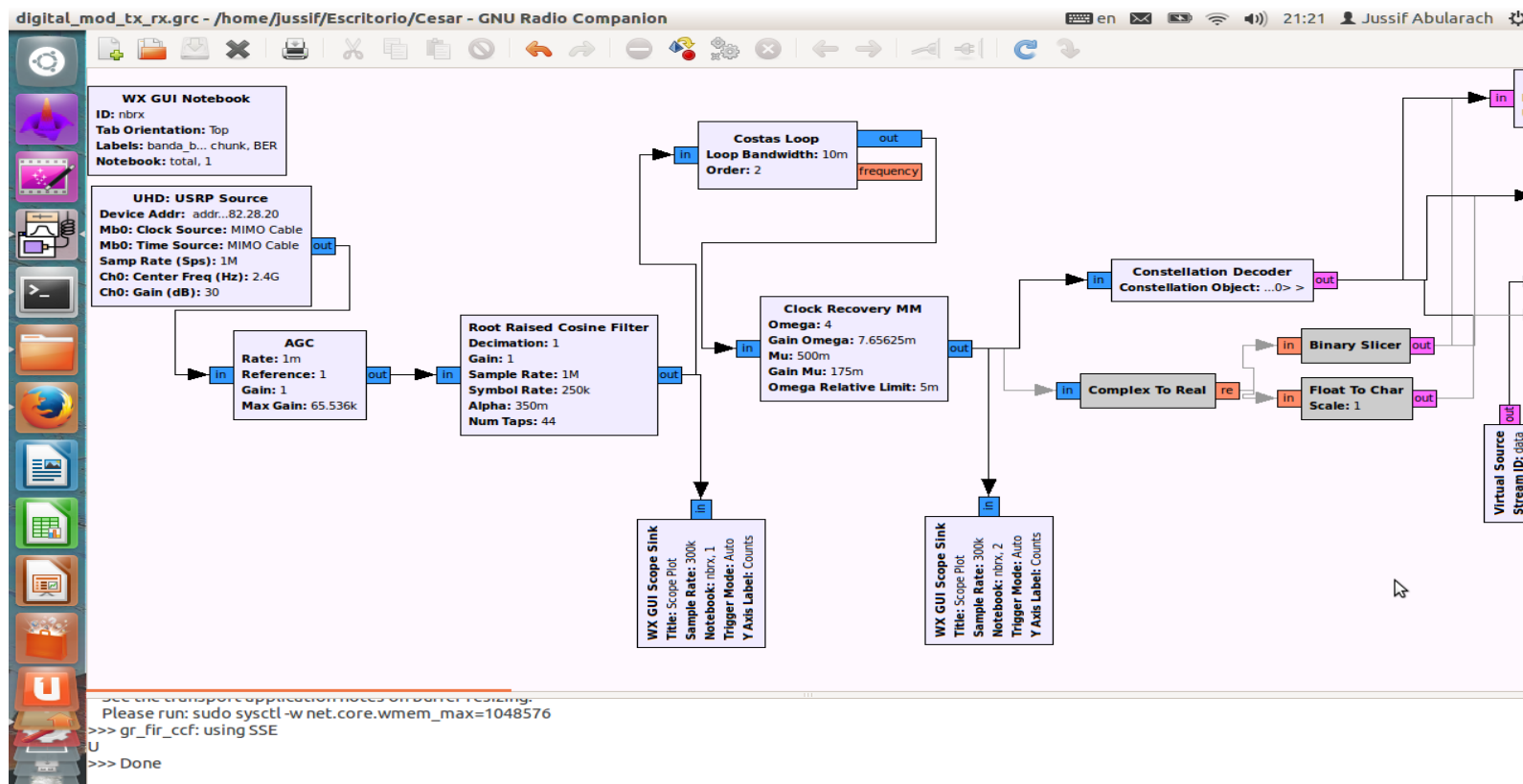


Fig. 192Receptor

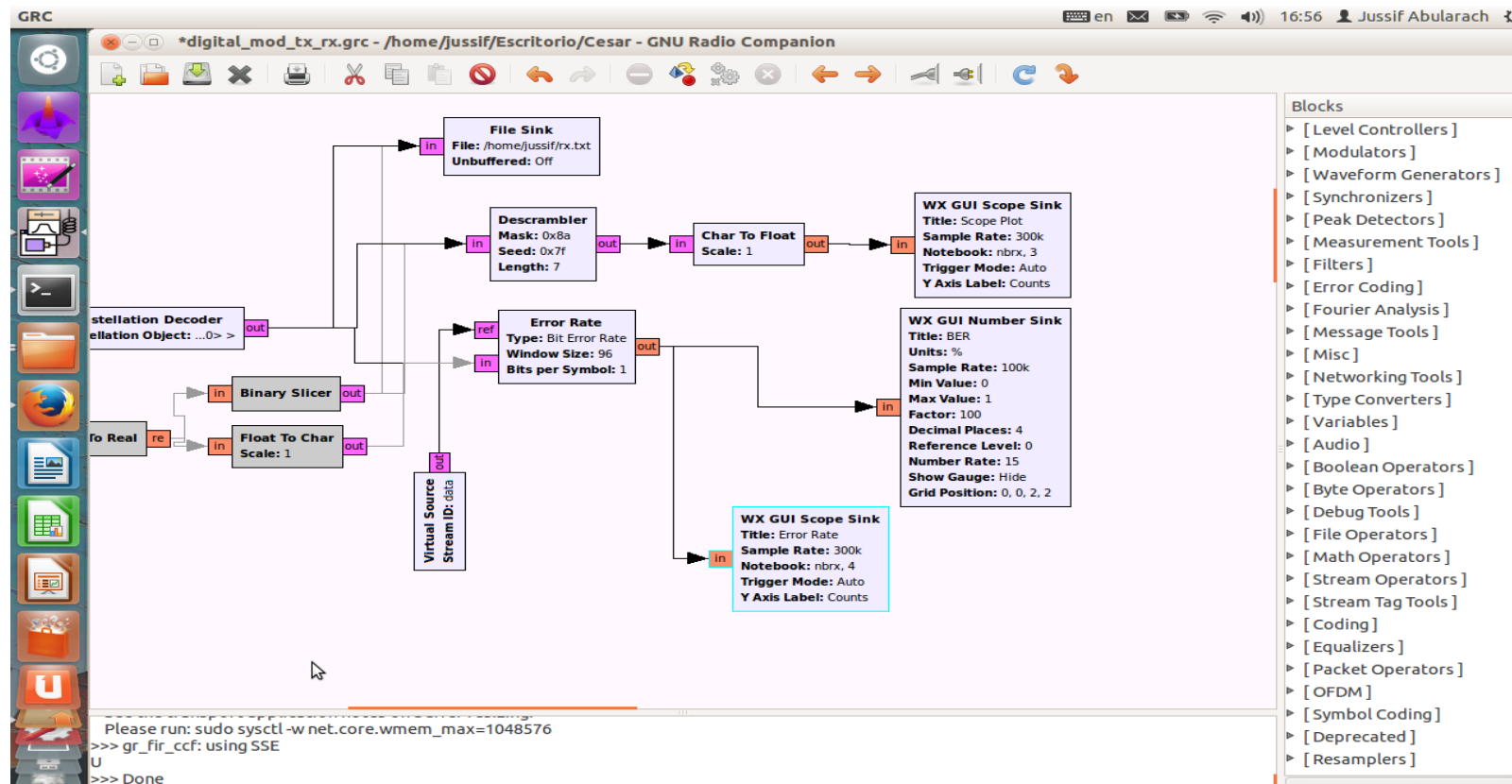


Fig. 193 Receptor

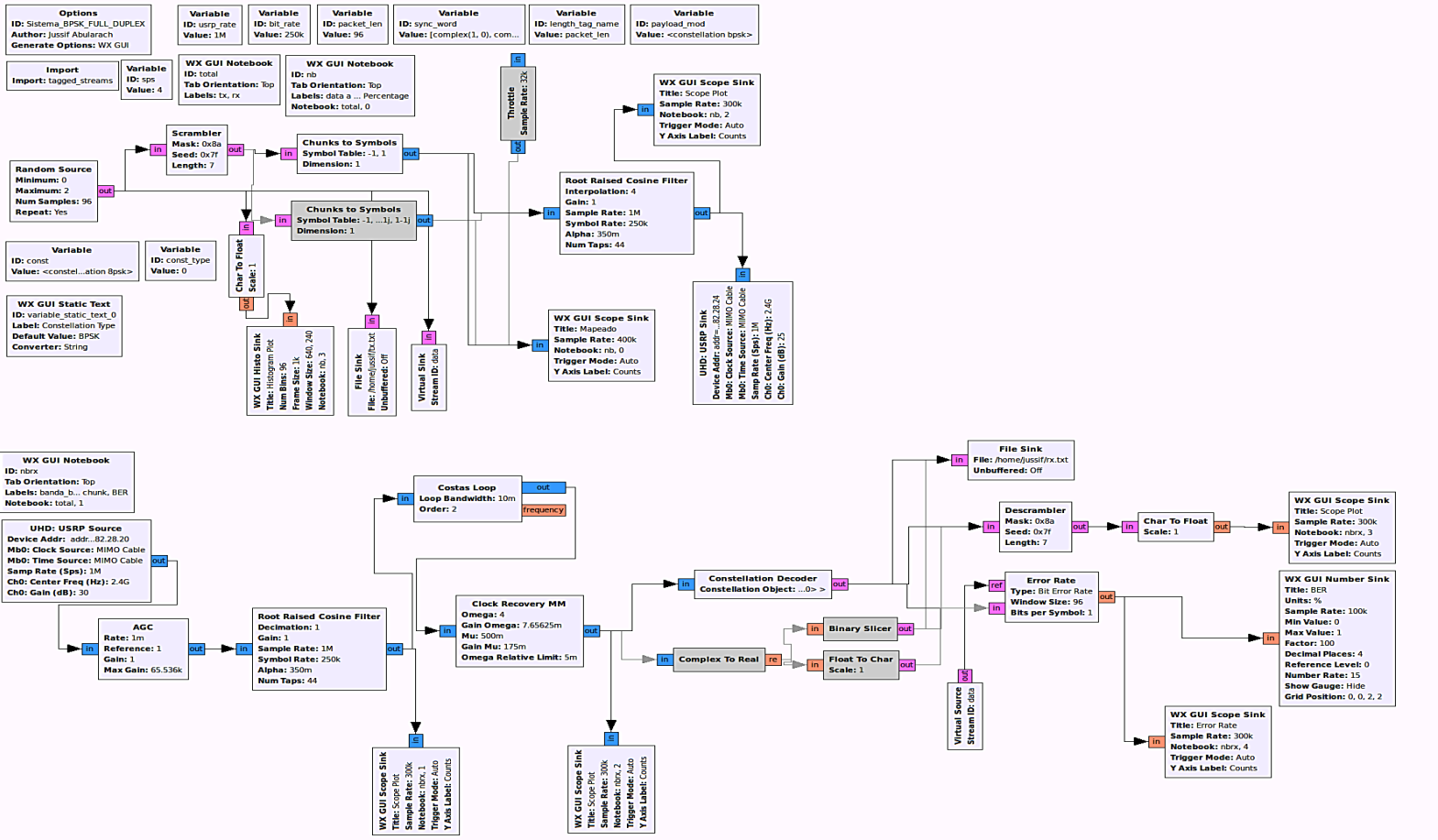


Fig. 194 Sistema de Comunicação Modulação BPSK

A figura abaixo mostra o cenário de medição utilizado para realizar a experimentação.

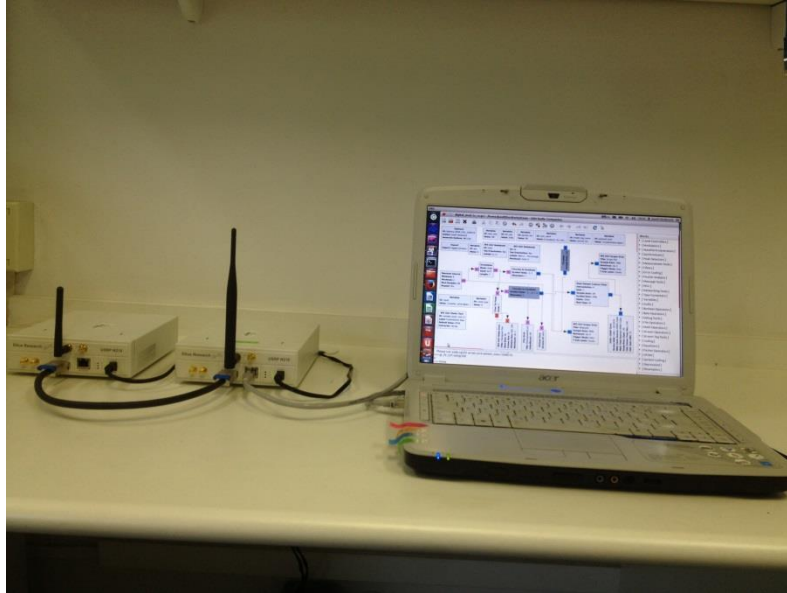


Fig. 195 Cenário de Teste

O cenário de teste esteve formado por duas USRP N210 montadas com placas tipo XCVR2450. Este tipo de placas filhas (*daughterboard*) opera nas bandas de 2.4 GHz até 4.5 GHz e desde 4.9 GHz até 5.9 GHz. Além disso, foi necessário estabelecer uma configuração MIMO com o propósito de melhorar a recepção e diminuir os problemas por falta de sincronismo. O tipo de antenas utilizadas é do modelo VERT2450.

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste cenário de teste. A Fig. 196 mostra do lado da transmissão, o procedimento de mapeamento e codificação dos dados a ser transmitidos. Depois, na Fig. 196 tem-se o sinal a ser transmitido após filtragem pelo filtro cosseno levantado (*Root Cosine Filter*).

The screenshot displays the GNU Radio Companion (GRG) interface for a BPSK Full Duplex system. The top panel shows the system's configuration, including the title "Sistema Bpsk Full Duplex" and various options like "Options: Sistema BPSK FULL DUPLEX" and "Variable: ID: lurg_rate". The center panel contains a block diagram of the system, starting with a "Random Source" block, followed by a "Scrambler" block, then a "Char To Float" block, and finally a "WX GUI Histo Sink" block. The bottom panel features a "Scope Plot" showing a signal waveform over time, with axes labeled "Counts" and "Time (ms)". The right panel contains settings for "Persistence", "Axes Options", "Channel Options", and "Coupling".

Fig. 197 Após da filtragem (*Root Cosine Filter*) - Transmissão

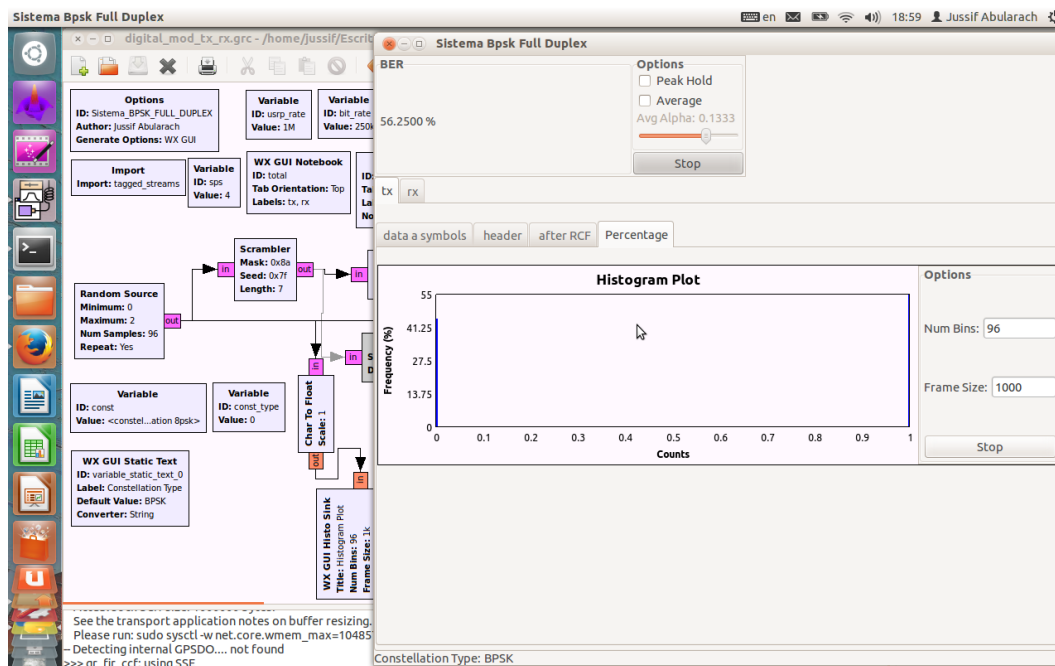


Fig. 198 Quantidade de bits igual a 1 e a 0 transmitidos

A Fig. 198, mostra a quantidade de bits iguais a 1 transmitidos sendo aproximadamente estes iguais a 55 % e de 45 % iguais a 0.

No lado da recepção, pode-se perceber que a taxa de erro (BER) é bastante alta entre 42% a 55 %. Isto deve-se a que no fluxograma não foi utilizado nenhum tipo de cabeçalho para diminuir os problemas de sincronismo presentes na recepção.

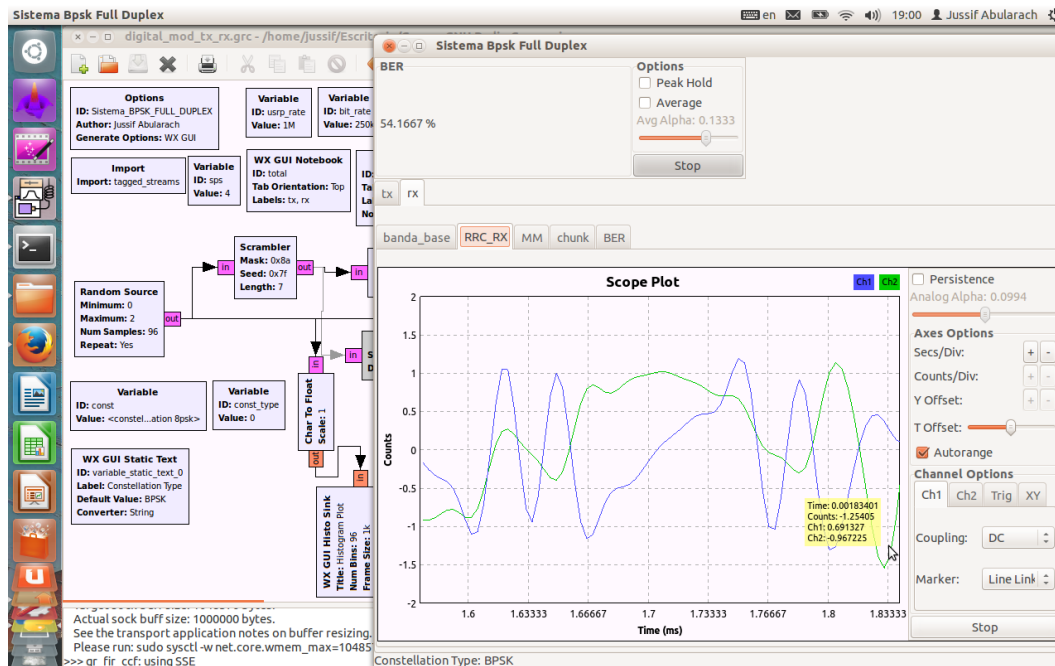


Fig. 199 Recepção do sinal depois da filtragem (RCF)

A Fig. 199 indica o sinal de entrada no sistema, após filtragem pelo filtro cosseno levantado (RCF). Pode se ver que o sinal sofre de falta de sincronismo de fase, evidenciado pela existência de componente real e componente imaginário do sinal, a diferença do sinal de saída do transmissor.

Se plotarmos a componente real no eixo X e a componente imaginária no eixo Y de um osciloscópio para obter a constelação do sinal recebido neste ponto, verifica-se a também a falta de sincronismo de fase e símbolo, pois a constelação recebida não corresponde a uma constelação BPSK (Fig. 200).

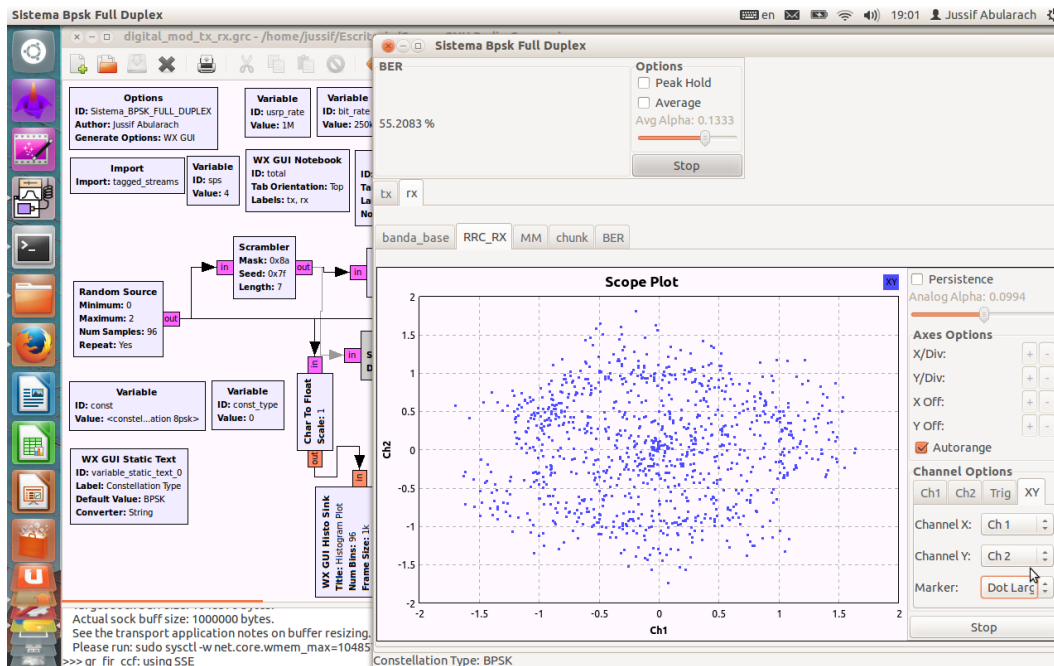


Fig. 200 Recepção do sinal depois da filtragem (RCF) – Constelação

A Fig. 201 e 202 mostram o sinal recebido após o procedimento de recuperação de portadora e de relógio do sinal recebido. Nesse caso, foi necessária a utilização dos blocos Costas Loop e do *Clock Recovery MM*.

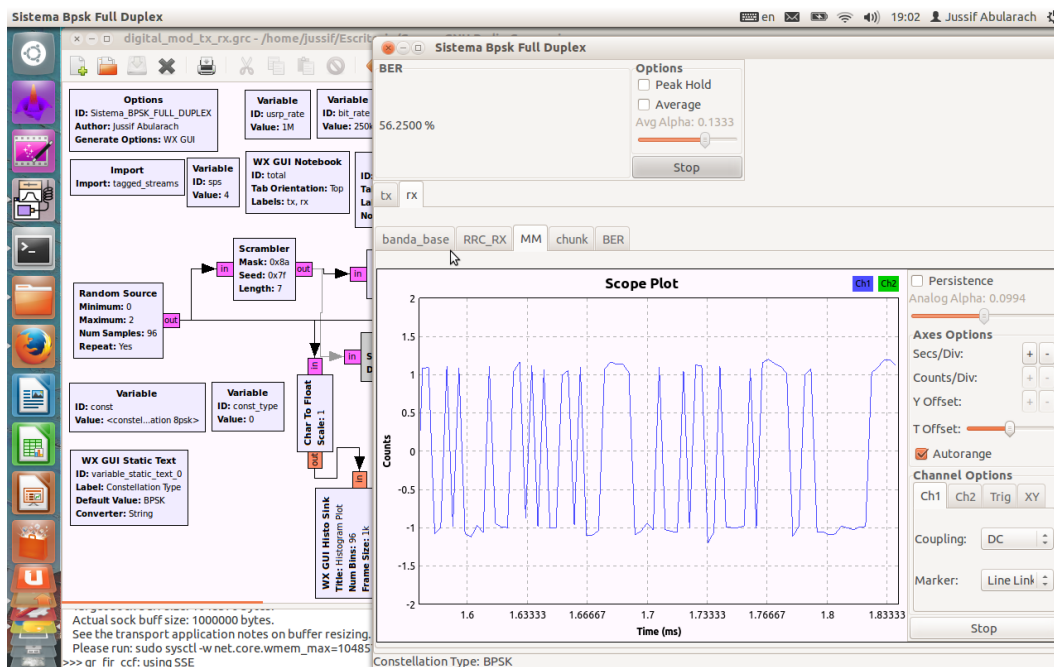


Fig. 201 Recuperadora de Relógio e Portadora

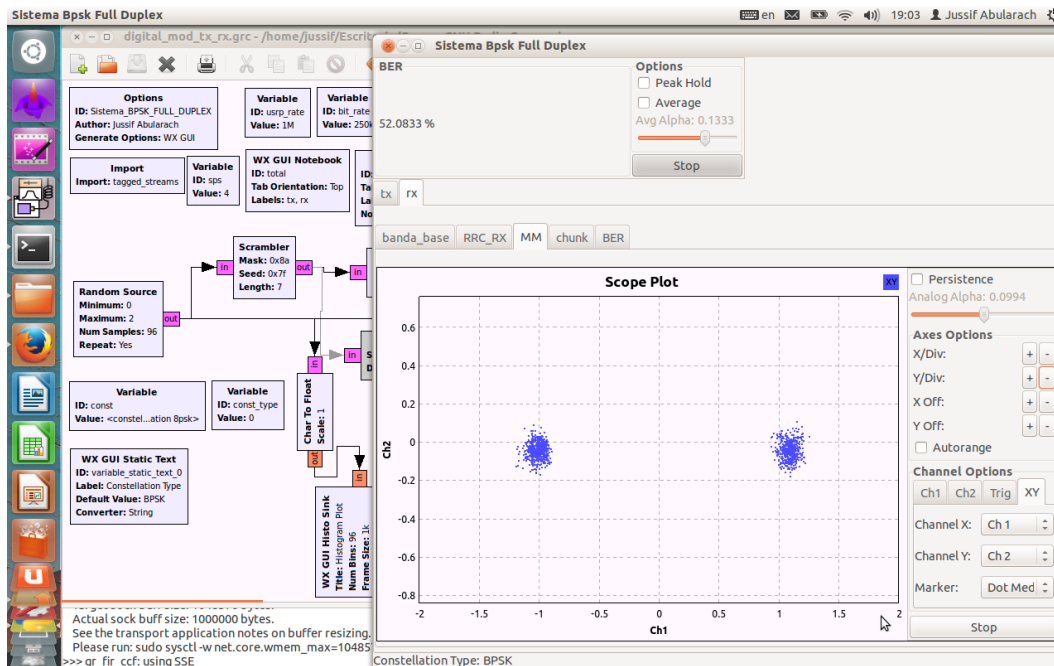


Fig. 202 Modulação BPSK após recuperação de Relógio e Portadora

Nas figuras mostradas, pode ser observado o efeito da sincronização de fase e símbolo, evidenciado nas Fig. 202 a Fig. 203 obtidas após o procedimento de recuperação de relógio e portadora. Observe-se que a constelação corresponde a um sinal de transmissão BPSK. Os deslocamentos dos valores $[-1, +1]$ são devidos aos efeitos do canal multipercurso e do ruído aditivo presente no receptor.

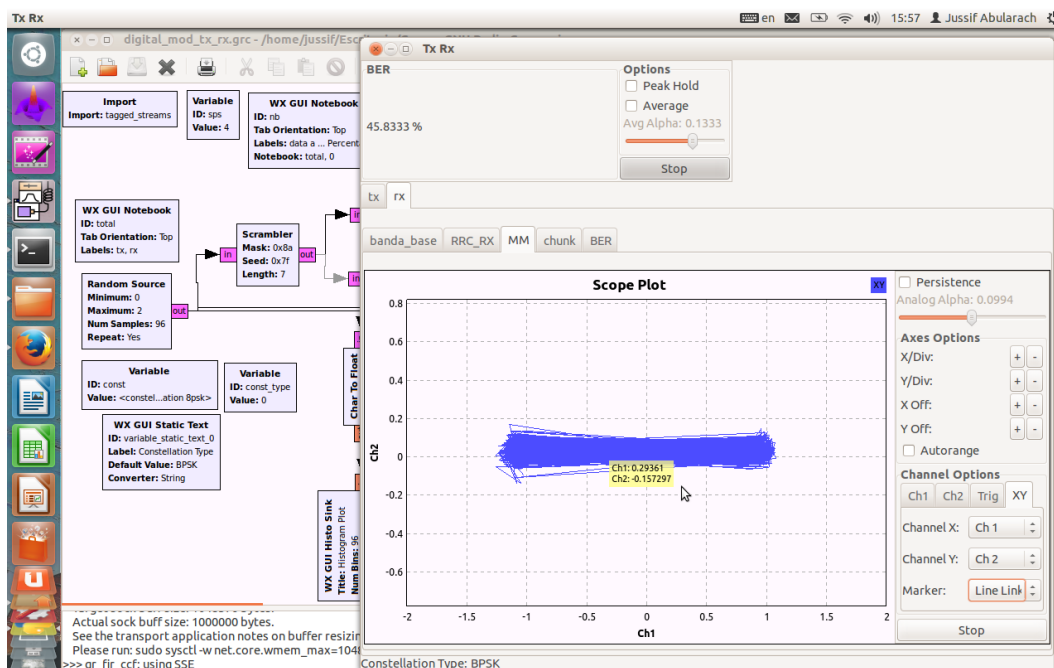


Fig. 203 Modulação BPSK após recuperação de Relógio e Portadora

A seguir, é apresentado um bloco que realiza o sensoriamento de espectro baseado na aplicação do método de detecção de eigenvalores utilizando o algoritmo SVD (*Singular Value Decomposition*).

O código foi desenvolvido em C++ e na linguagem Python, mas, em uma versão antiga do GNU RADIO – GRC. Por tanto, foi necessário realizar modificações no código para a sua utilização na versão atual do GRC. Este exemplo foi desenvolvido de forma conjunta com o aluno de pós-graduação Marcelo Molina. Embora, não se tenha proposto um cenário de medição, no momento, a avaliação deste bloco com capacidades cognitivas encontra-se em andamento para propor em um futuro, um cenário de teste.

Os parâmetros utilizados no bloco são basicamente três: Probabilidade de Falso Alarme (PFA) definido entre 0 e 1, o tamanho da Função de Correlação (L) que pode assumir três valores: 12,16,20. Além disso, inclui-se a variável de Numero de Amostras (*Samples*) a gerar. (ver Fig. 204)

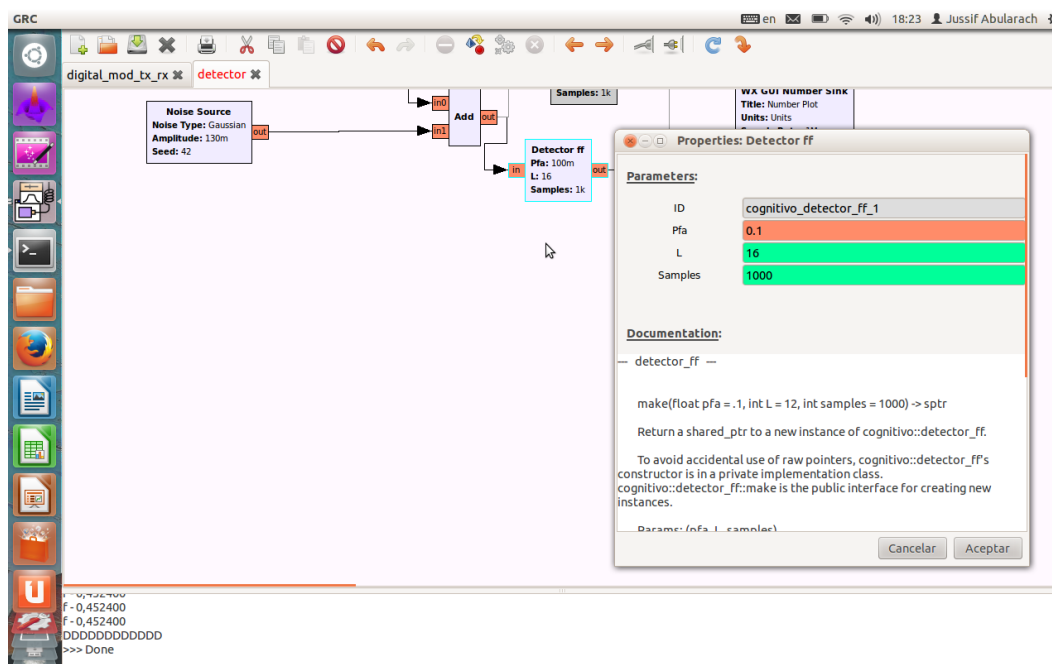


Fig. 204 Bloco Detector

A seguir, são apresentados os fluxogramas no GRC.

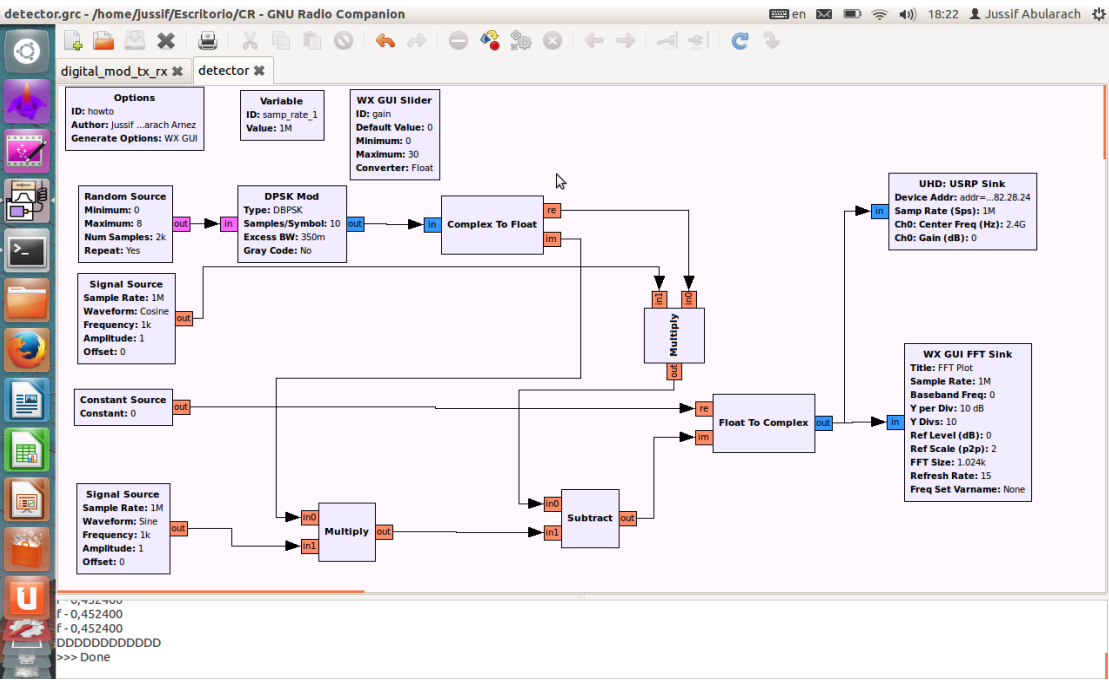


Fig. 205 Transmissor

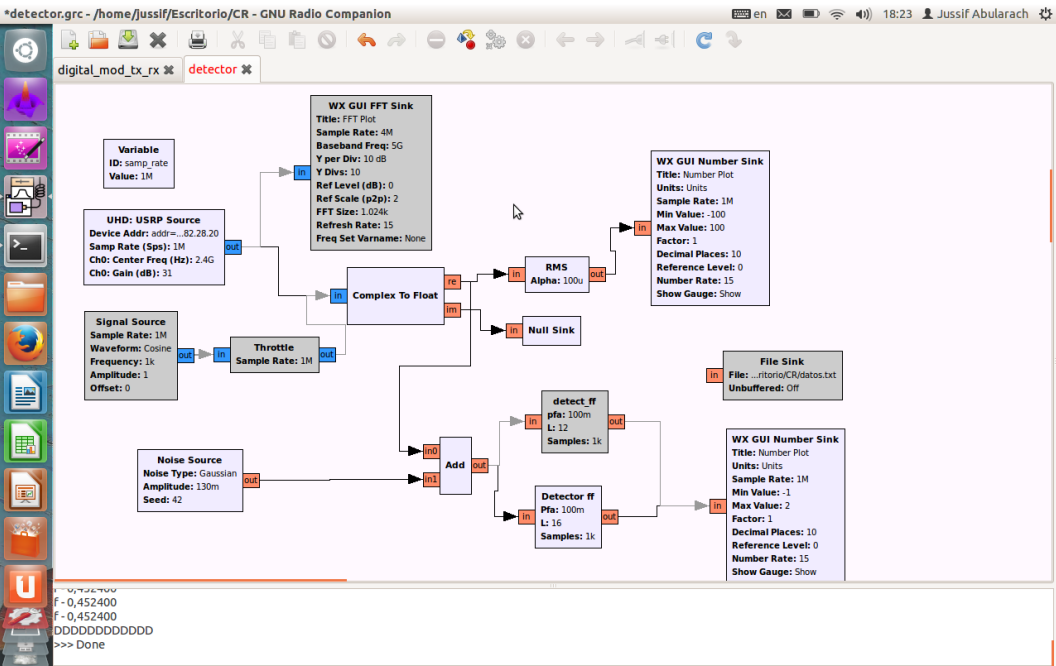


Fig. 206 Receptor

A.7

Problemas apresentados na USRP

Entre os principais problemas que se apresentaram na utilização do equipamento USRP referem-se principalmente à falta de informação e tutoriais que indiquem a través de exemplos didáticos a utilização deste equipamento. No caso de existir, apresentam-se informações desatualizadas que não funcionam em uma versão atual do equipamento ou do GRC impedindo a sua correta utilização.

Além disso, um dos principais problemas apresentados no equipamento de rádio tem a ver com o sincronismo entre os equipamentos quanto é estabelecido um sistema de comunicação mais complexo, assumindo taxas de amostragens mais altas (maiores a 3 Mbps). Neste cenário, não se conseguiu receber o sinal transmitido devido principalmente às imperfeições do equipo apresentados no oscilador local, presenças de espúrios em banda e fora de banda.

De igual modo, à presença de espúrios fora e dentro da banda ocasionaram a aparição do DC offset que impossibilita a correta transmissão e recepção do sinal gerada. Uma das possíveis soluções que se pode ter para reduzir estes problemas é utilizar filtros para melhorar o sinal transmitido, um cabo MIMO ou montar uma placa GPS na USRP.

Outra alternativa, como método de solução é utilizar um equipamento que atue de referência externa (*clock*) e conectar diretamente à USRP no porto de saída externa disponível no equipamento. Além disto, é importante também fazer menção da confusão que se tem no momento de estabelecer as taxas de amostragem no fluxograma do GRC devido a que no trânsito do sinal através de cada bloco indicam-se valores de interpolação e decimação do sinal. Embora, tenham-se exemplos não se tem uma ideia clara da determinação deste valor, nem dos valores a estabelecer. Uma das sugestões na utilização da USRP e no GNU Radio é a procura de tutoriais e material bibliográfico em diferentes sites e fórum disponíveis na internet que discutam estes tópicos e possam ajudar a compreender mais um pouco da utilização da USRP e do GNU Radio – GRC.

Desta maneira, a utilização do GRC e da USRP precisa de um grupo de trabalho de pesquisa ou montar um laboratório responsável de realizar uma

abordagem com mais detalhamento a fim de obter maiores benefícios e uso eficiente deste equipamento.

A.8

Avaliação dos parâmetros MER e BER para as distâncias de separação de 2, 6, 12, 18 e 25 metros

A seguir, são apresentados os resultados obtidos no cenário de medição considerando a avaliação dos parâmetros BER e MER para as distâncias de separação de 2 a 25 metros em função dos esquemas de modulação QPSK, 16 QAM e 64 QAM.

A.8.1

Cenário de Coexistência a 2 metros de separação

As figuras apresentadas a seguir mostram os resultados obtidos para o esquema de **modulação QPSK**.

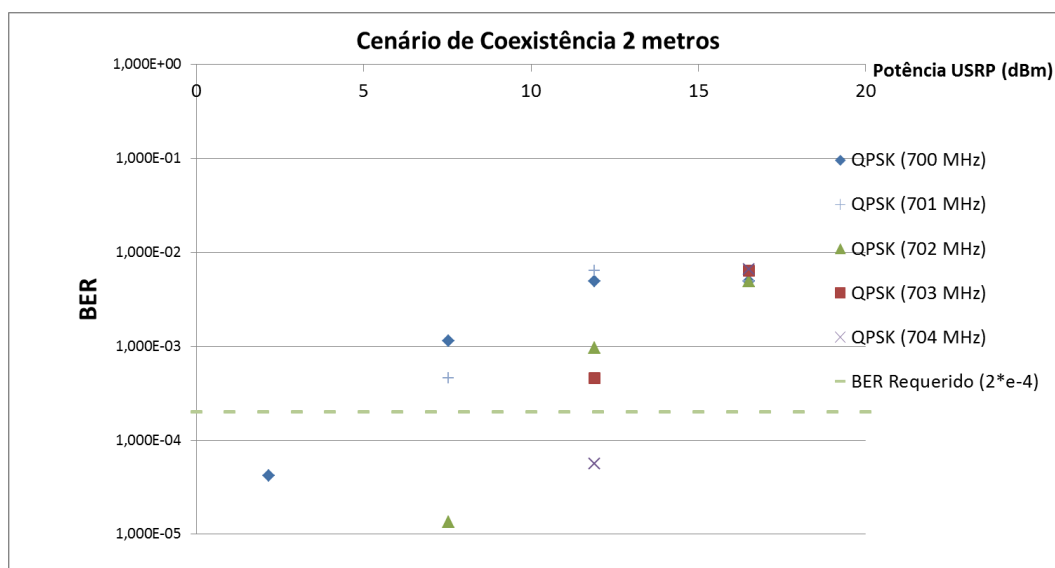


Fig. 207. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

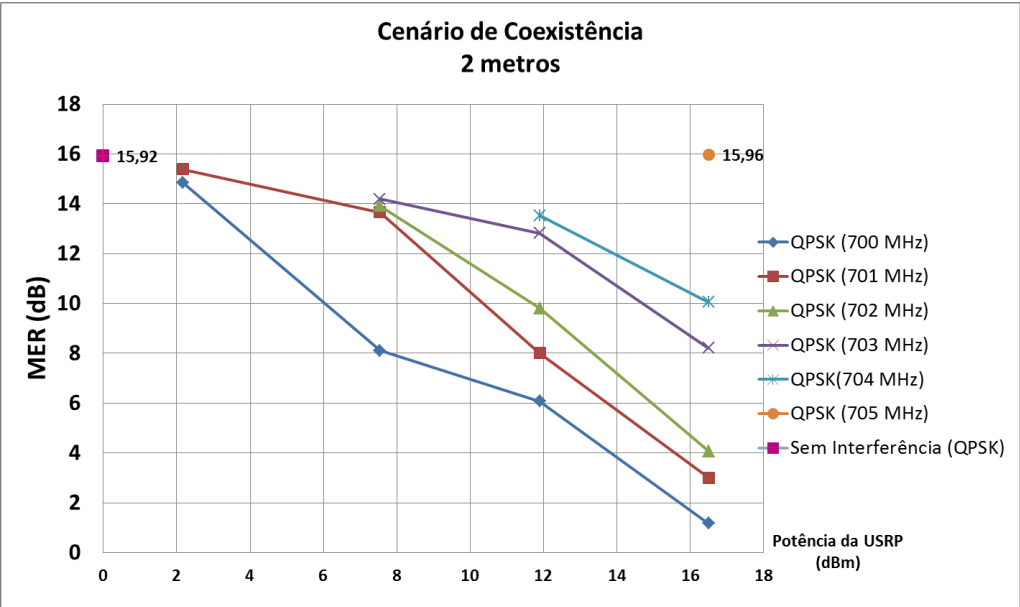


Fig. 208. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As figuras a seguir mostram os resultados obtidos utilizando o esquema de modulação 16 QAM.

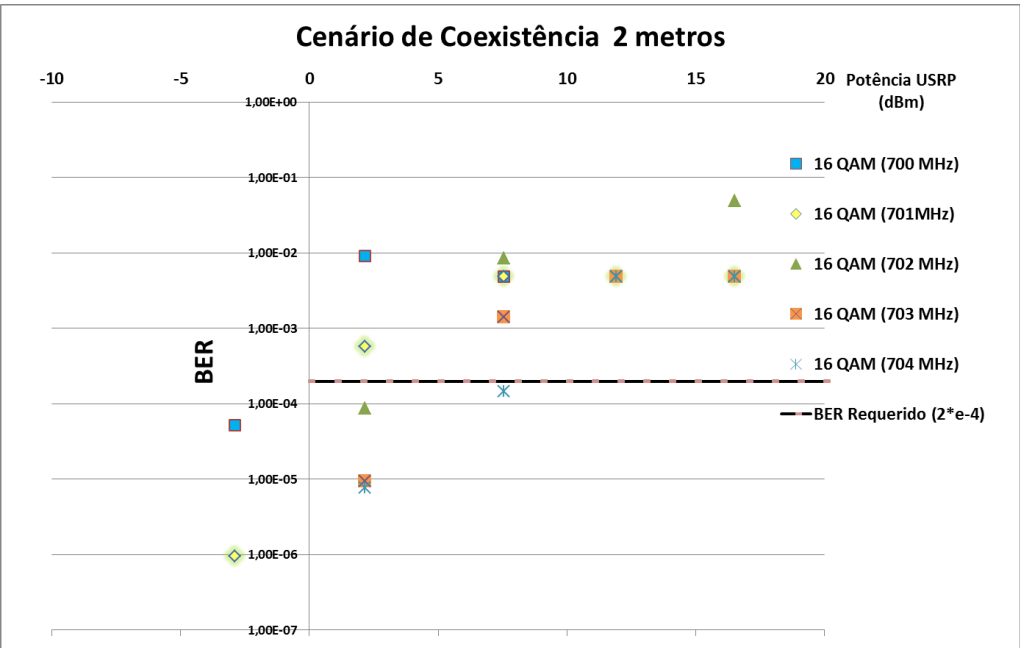


Fig. 209 Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

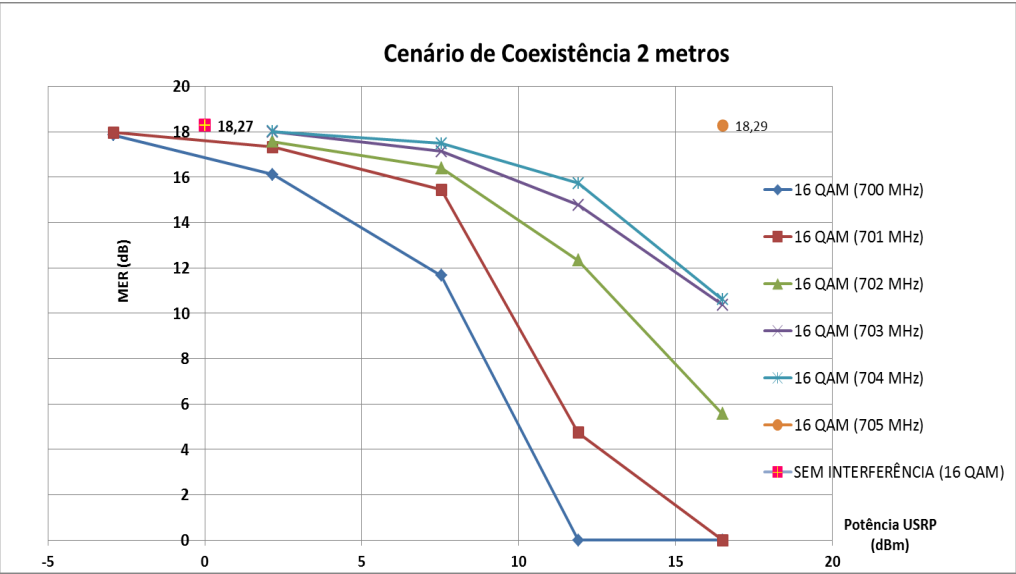


Fig. 210 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As Fig. 211 e 212 mostram os resultados obtidos utilizando o esquema de modulação 64 QAM.

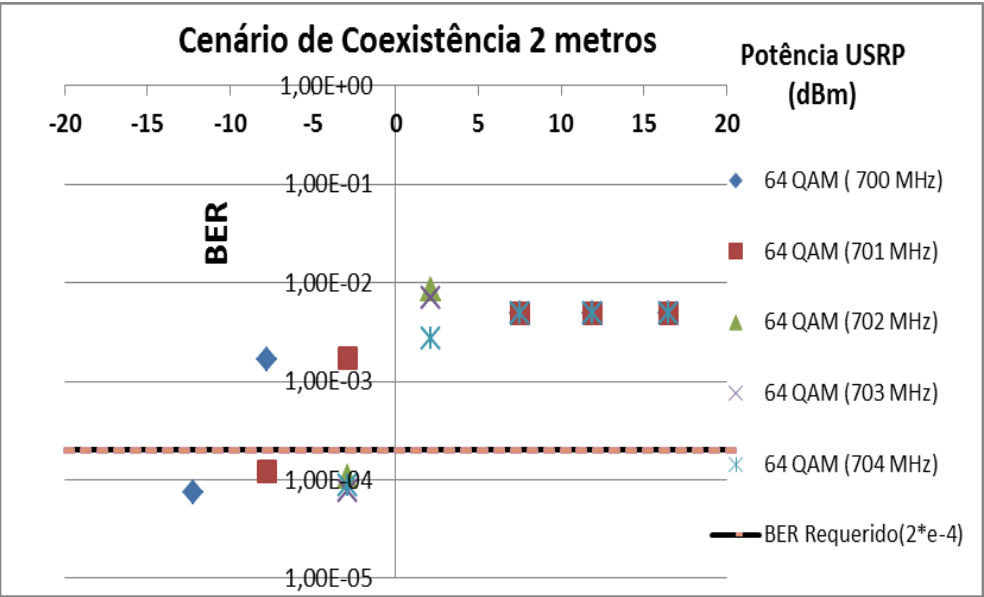


Fig. 211. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

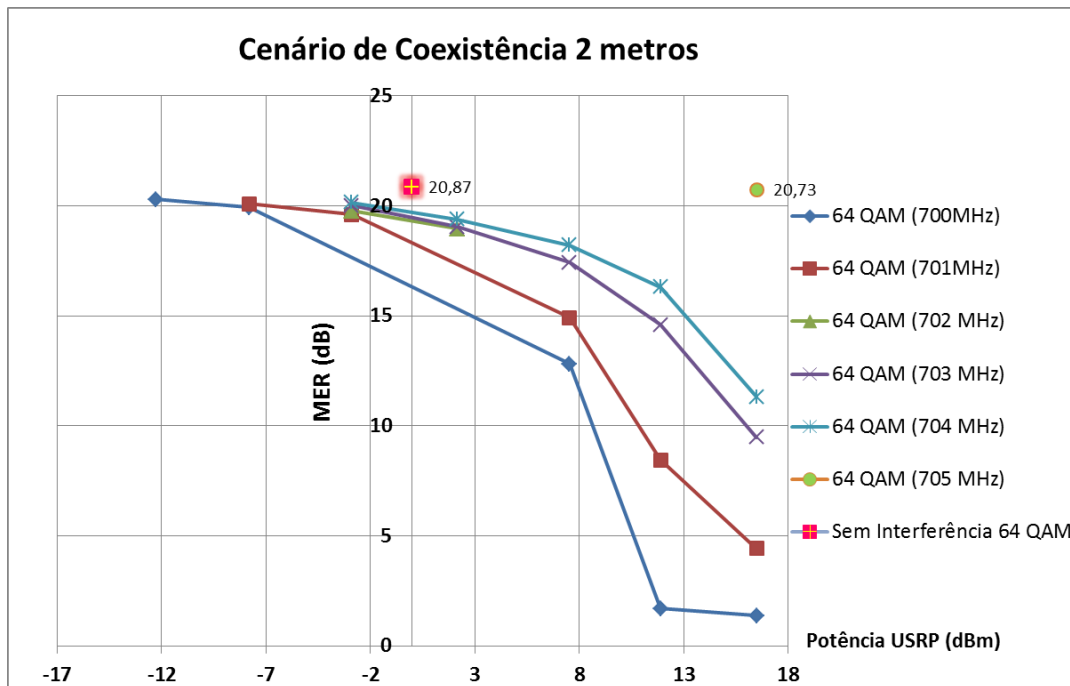


Fig. 212. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

A.8.2

Cenário de Coexistência a 6 metros de separação

As figuras mostram os resultados obtidos utilizando o esquema de modulação QPSK.

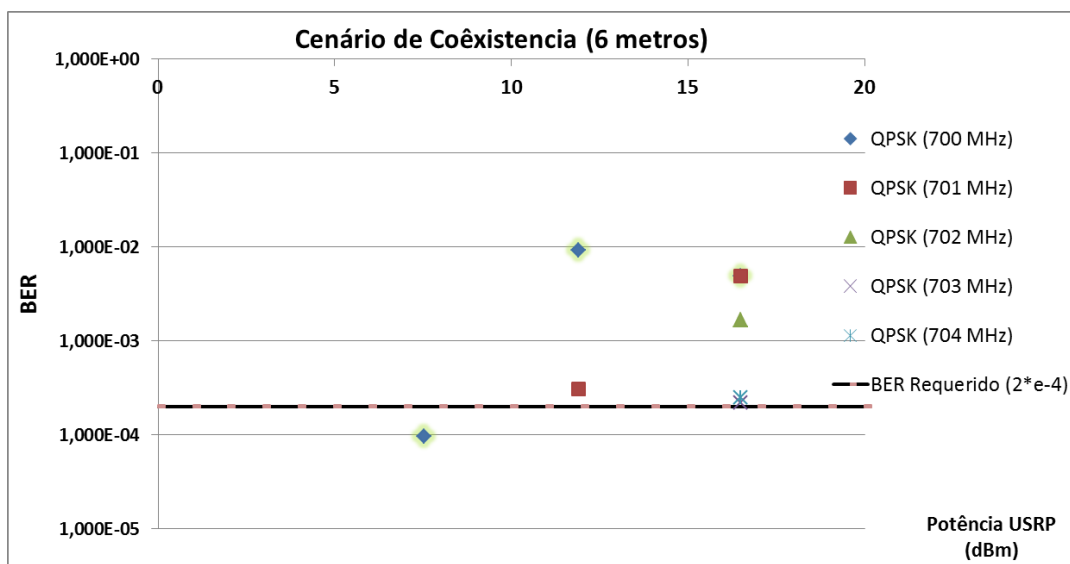


Fig. 213. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

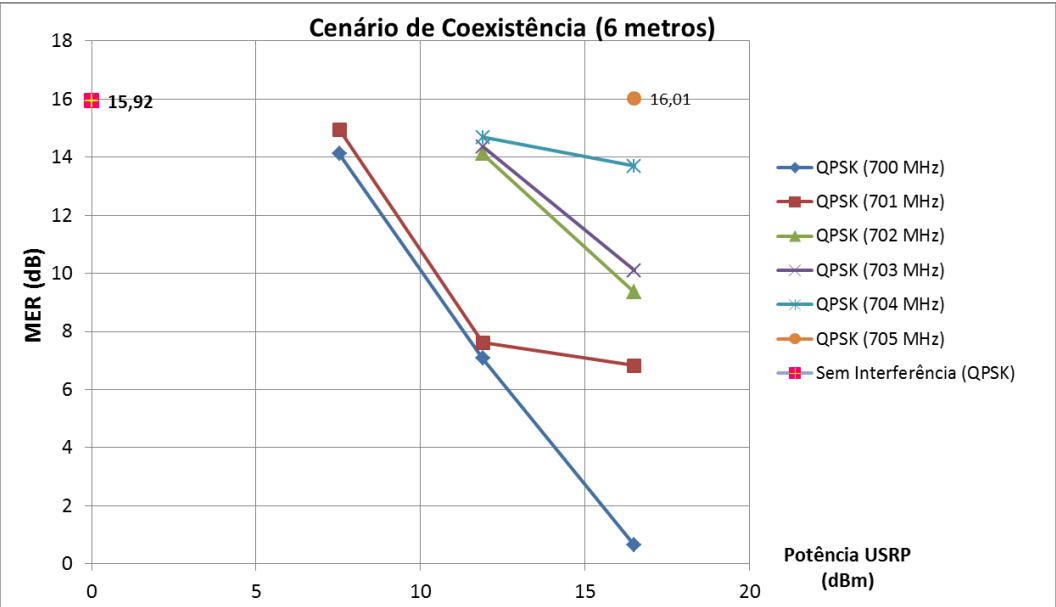


Fig. 214. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As Fig. 215-216 mostram o resultados utilizando o esquema de modulação 16 QAM.

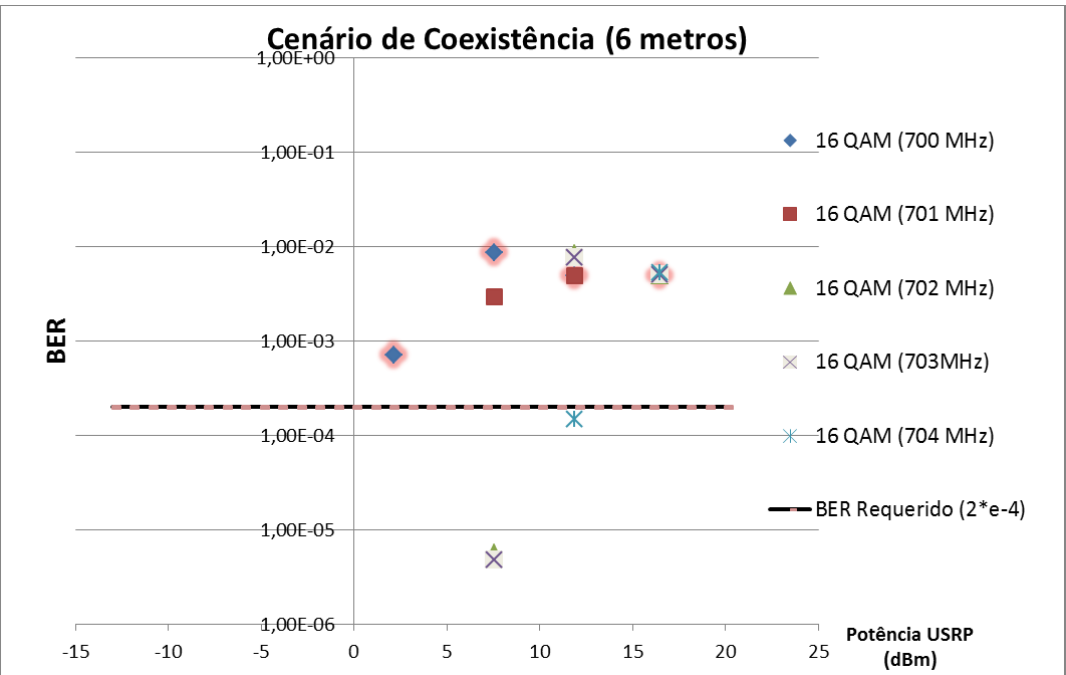


Fig. 215. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

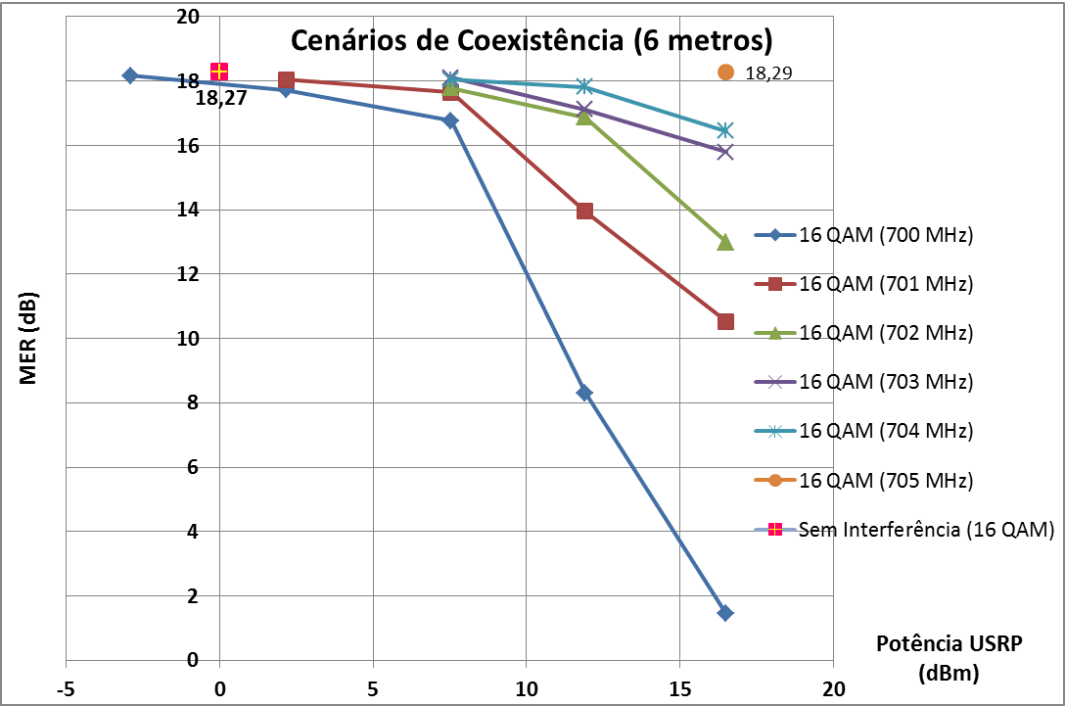


Fig. 216. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

Nas figuras apresentadas a seguir, mostram os resultados obtidos para modulação 64 QAM.

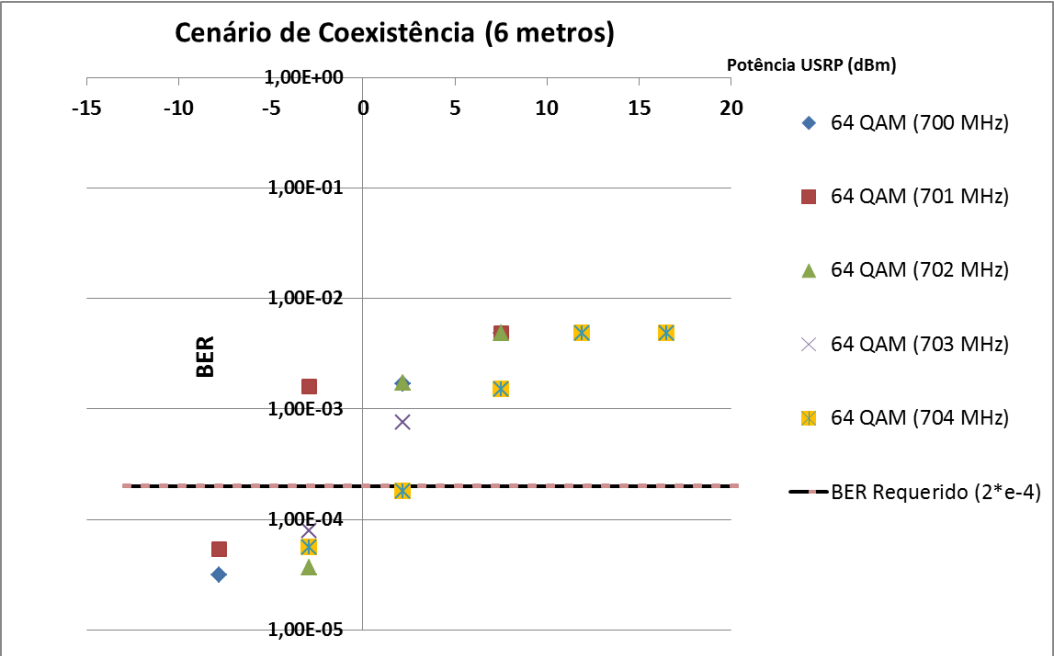


Fig. 217. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

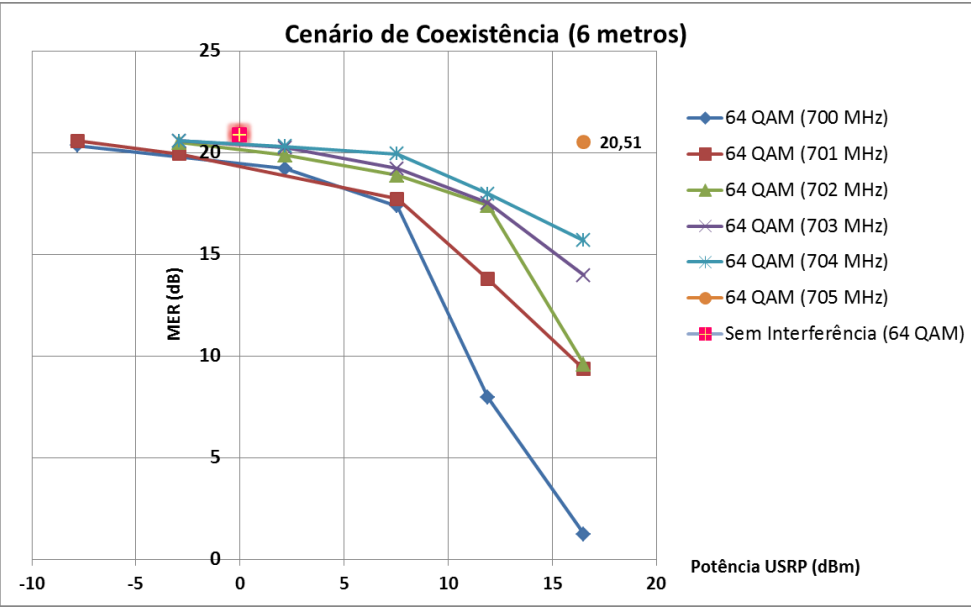


Fig. 218 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

A.8.3

Cenário de Coexistência a 12 metros de separação

As Fig. 219 e Fig. 220 apresentam os resultados obtidos para o esquema de modulação QPSK.

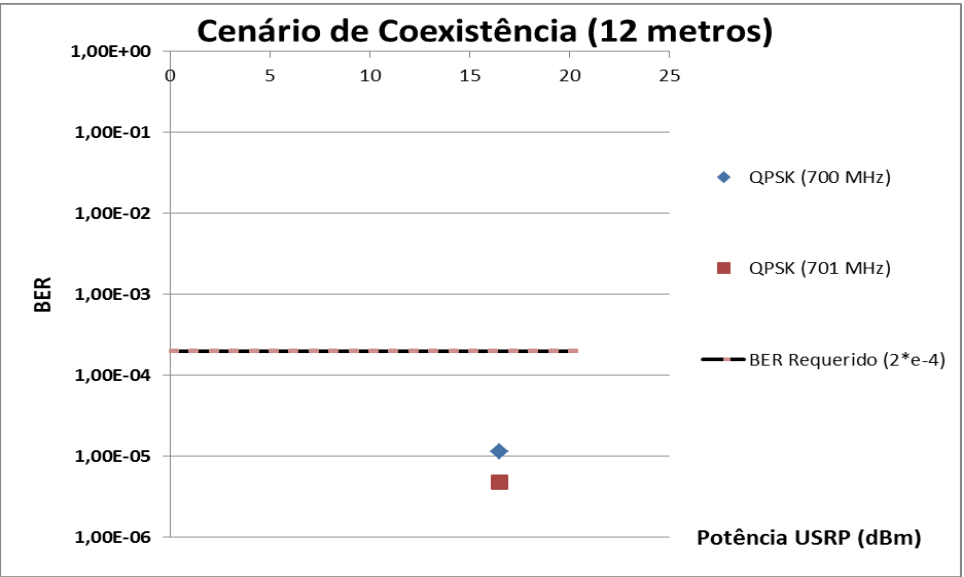


Fig. 219. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

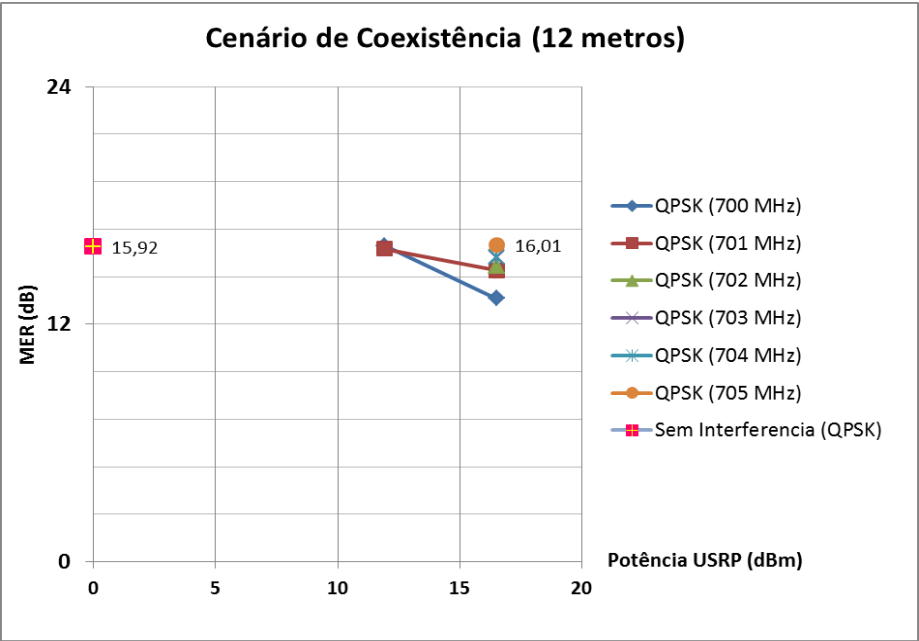


Fig. 220 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As Fig. 221-222 mostram os resultados obtidos para o esquema de modulação 16 QAM.

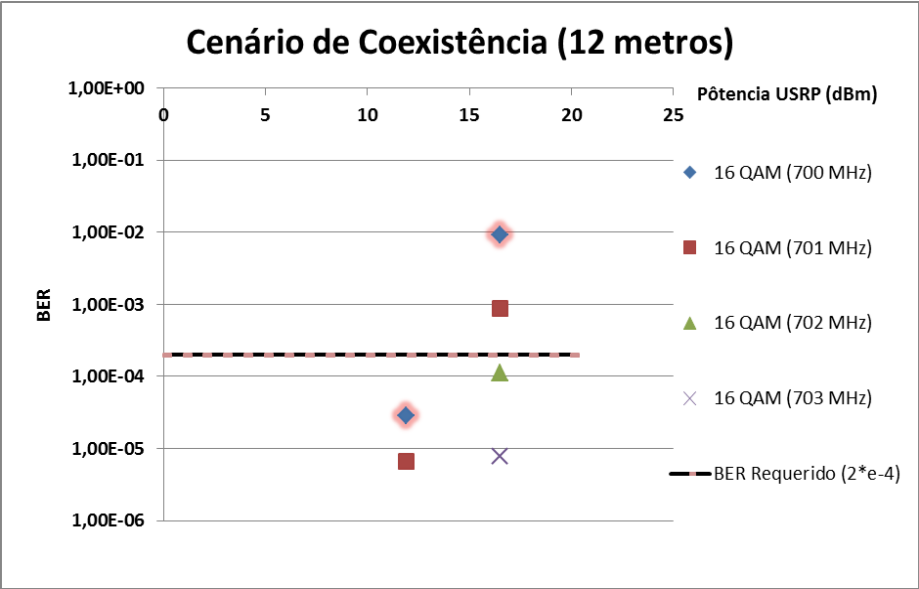


Fig. 221 Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

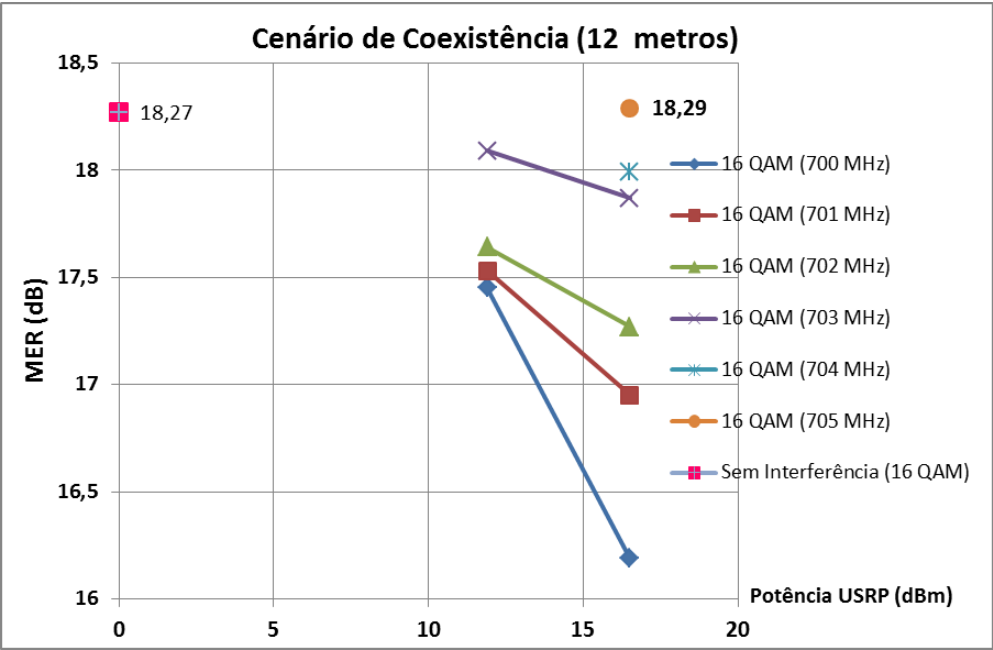


Fig. 222 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e da Frequência de Guarda

A seguir, as figuras mostram os resultados obtidos para o esquema de modulação 64 QAM.

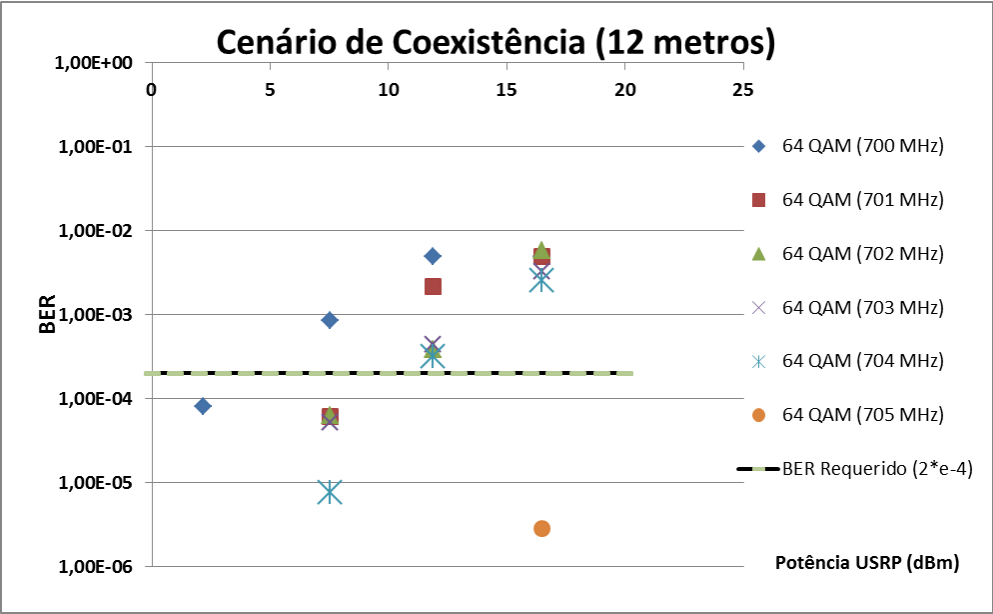


Fig. 223 Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

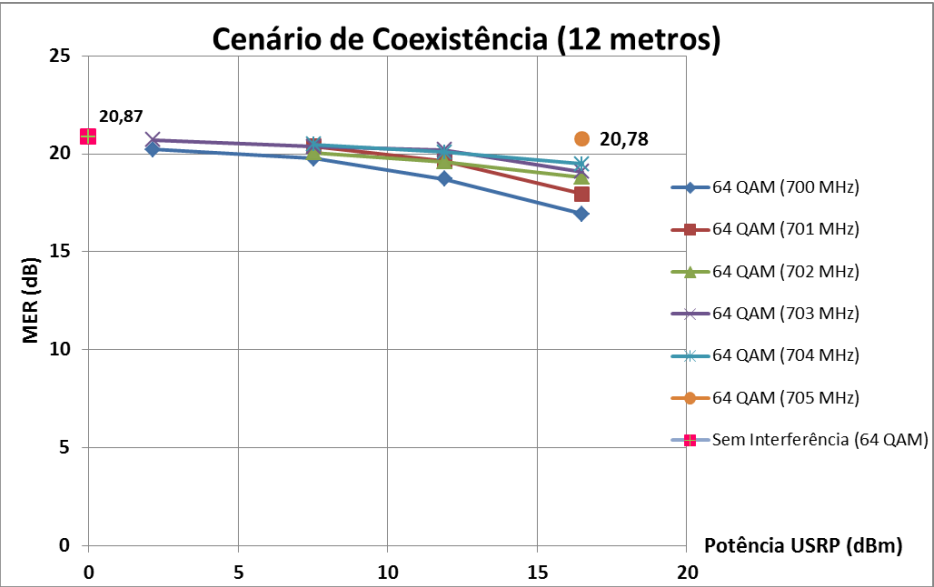


Fig. 224. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda.

A.8.4
Cenário de Coexistência a 18 metros de separação

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos da BER e da MER para o esquema de **modulação QPSK**.

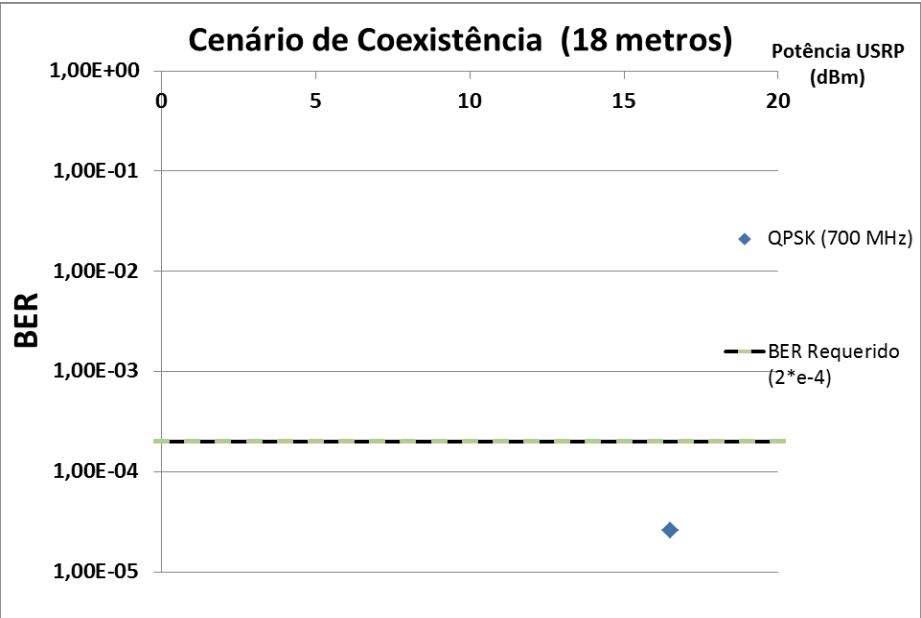


Fig. 225. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

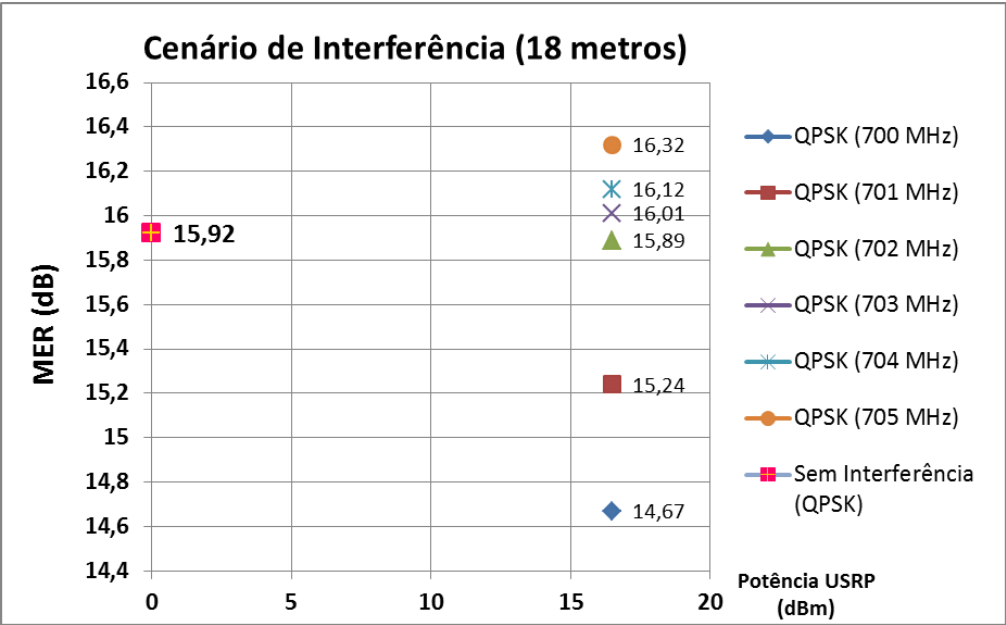


Fig. 226. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As Fig. 227-228 mostram o resultado do cenário de coexistência utilizando o esquema de **modulação 16 QAM**.

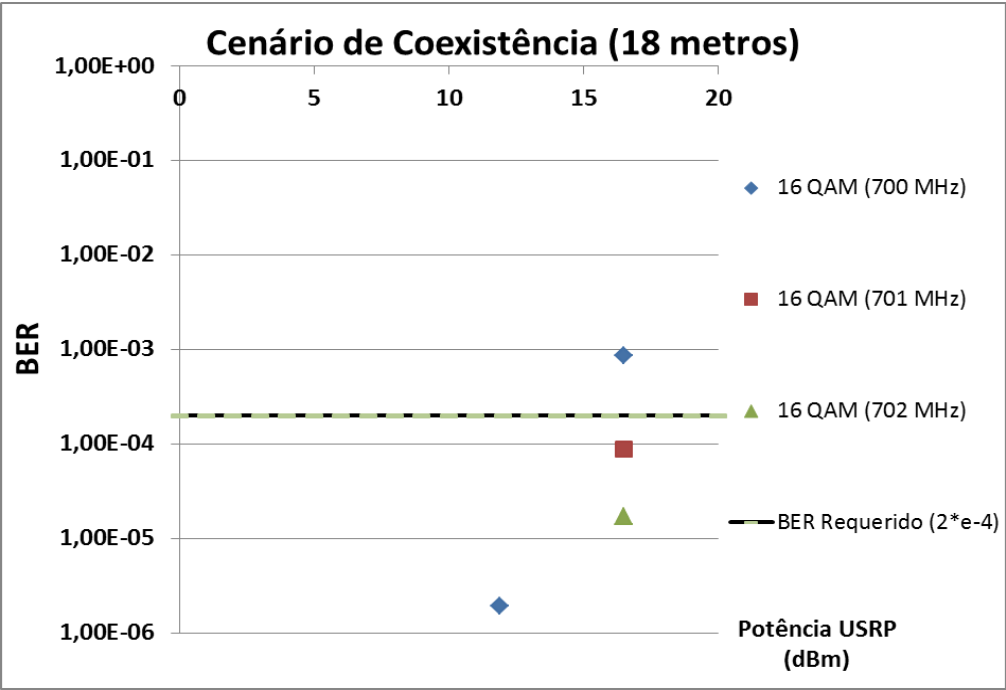


Fig. 227. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

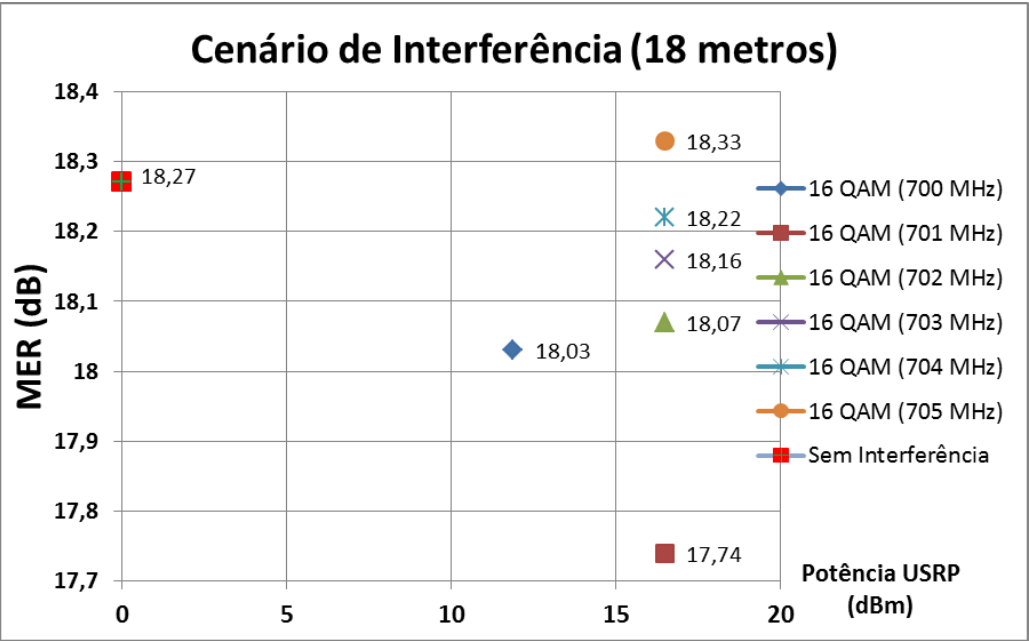


Fig. 228. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As figuras apresentadas a seguir consideram a utilização da **modulação 64 QAM** para uma distância de separação de 18 metros.

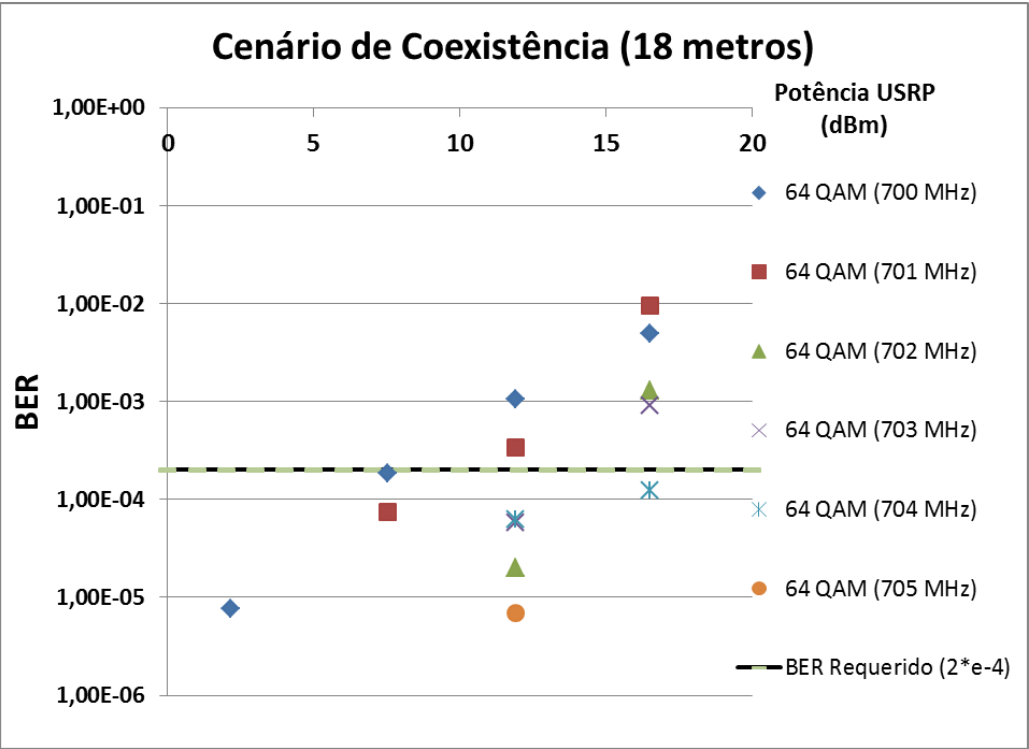


Fig. 229. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

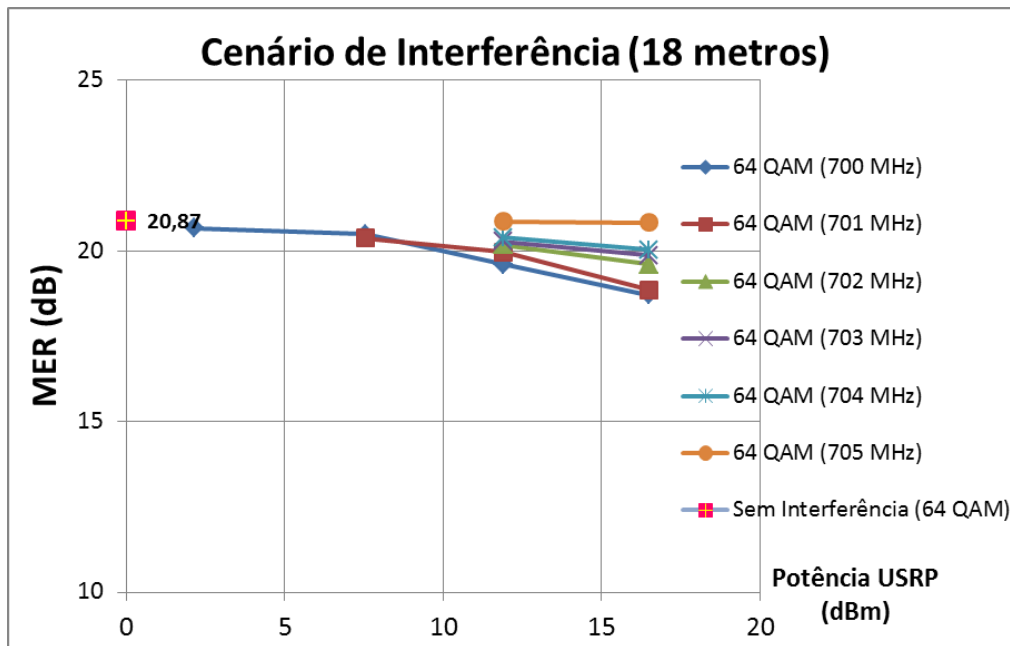


Fig. 230. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

A.8.5

Cenário de Coexistência a 25 metros de separação

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos dos parâmetros BER e da MER considerando uma distância de separação entre o Sistema Vitima (SBTVD) e o Sistema Interferente (femtocélula LTE USRP) de aproximadamente 25 metros.

Para a **modulação QPSK** os valores da BER ($0 * 10^{-7}$) não apresentam erro, por tanto, não foi possível plotar a figura da BER. Entretanto, este comportamento pode ser verificado nos valores obtidos da MER (ver Fig. 231).

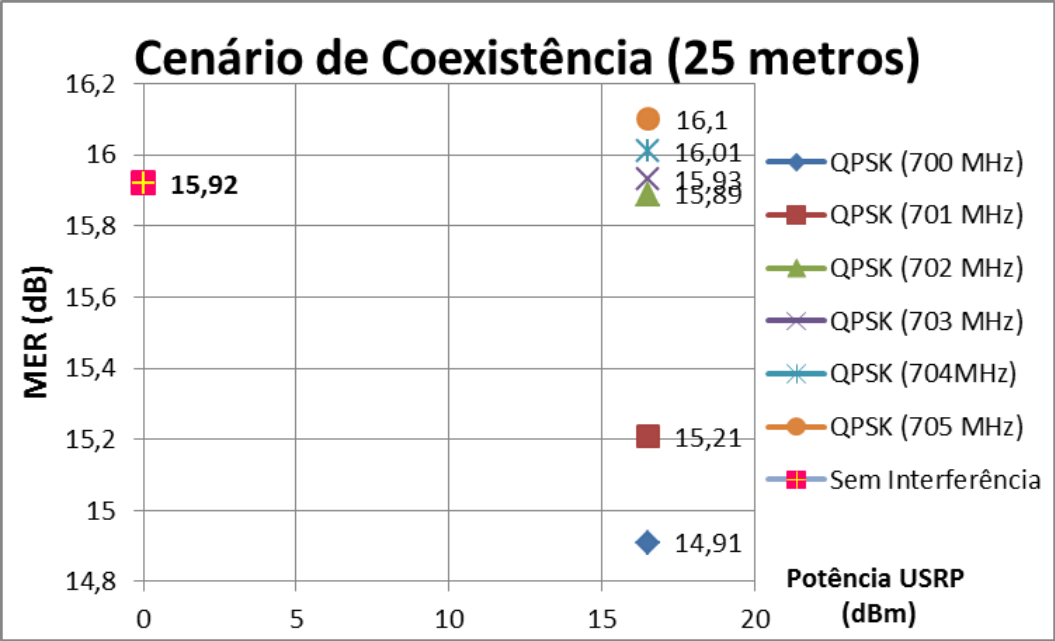


Fig. 231 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

As figuras a seguir mostram os resultados obtidos da BER e da MER para o esquema de **modulação 16 QAM**.

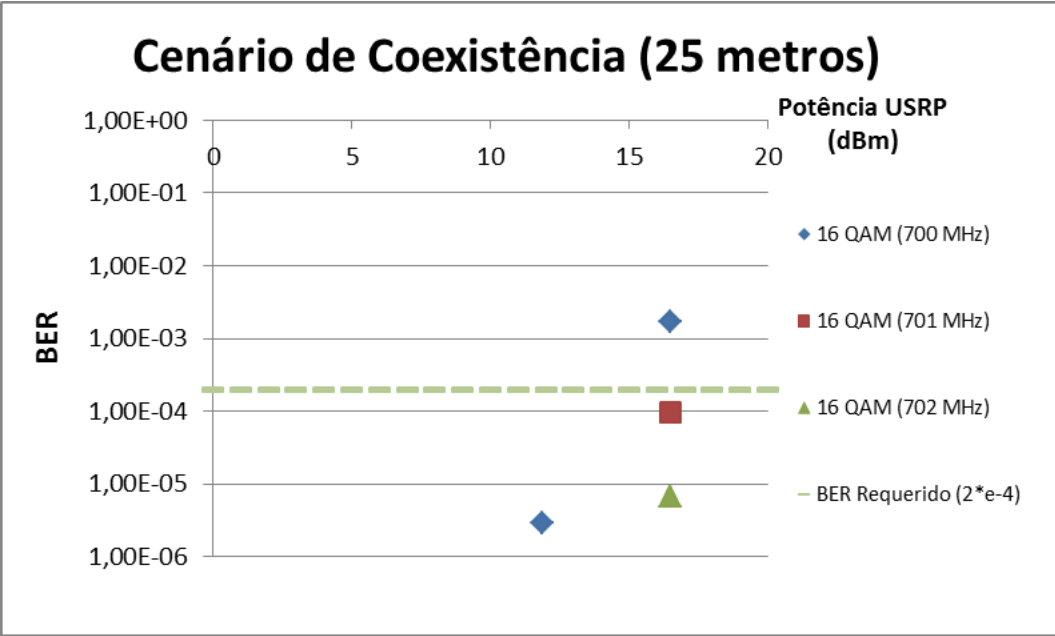


Fig. 232 Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

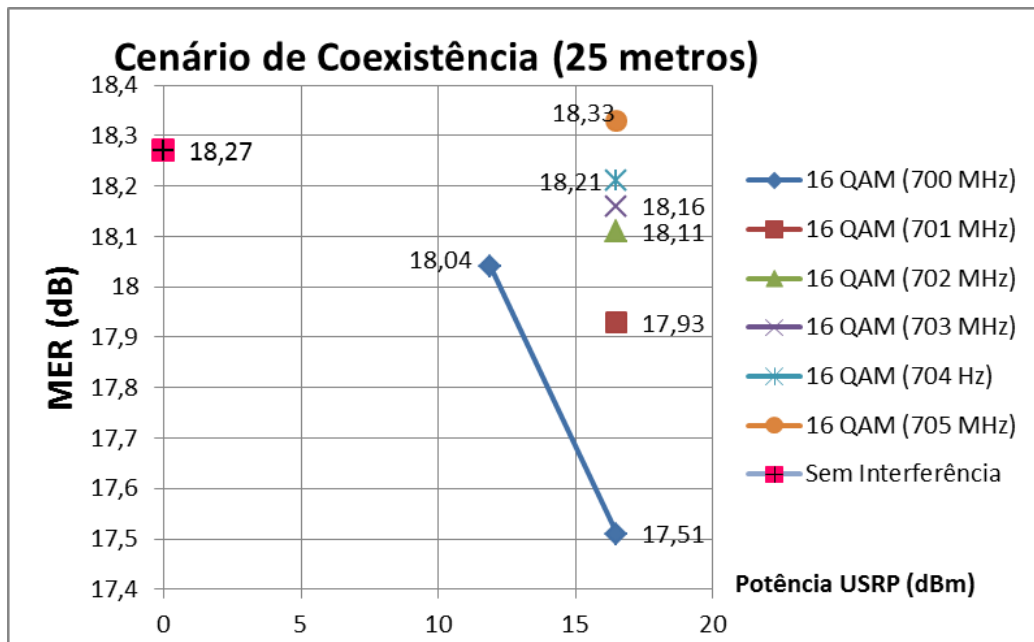


Fig. 233. Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

No último cenário de coexistência a 25 metros de separação entre o Sistema Vitima (SBTVD) e o Sistema Interferente (LTE Femtocell - USRP) é considerada a utilização da **modulação 64 QAM**.

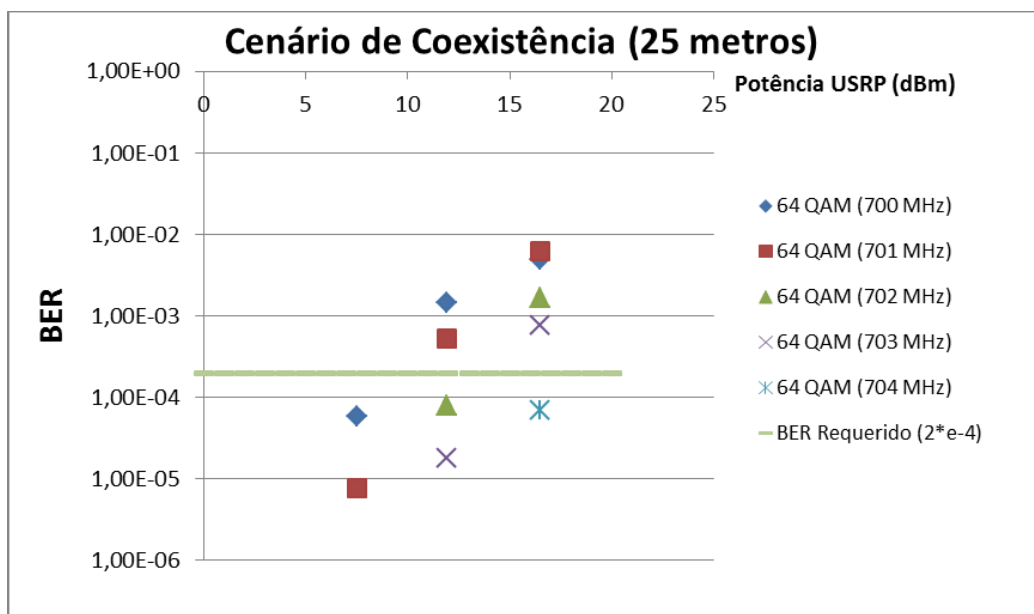


Fig. 234. Avaliação da BER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda

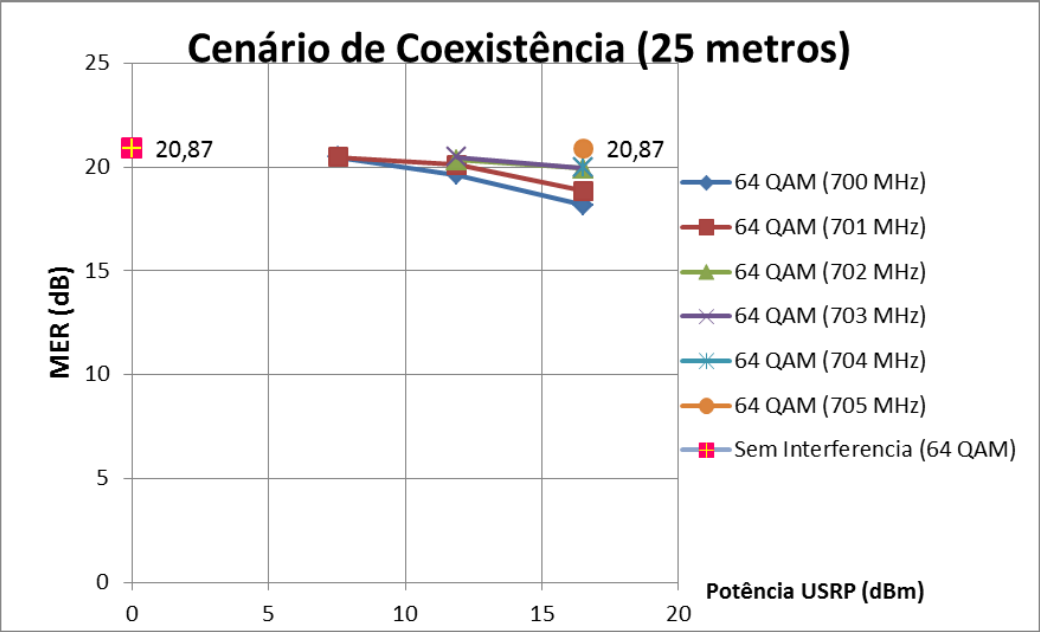


Fig. 235 Avaliação da MER em função da Potência da Femtocélula e Frequência de Guarda