

## ANÁLISE DO GNU RADIO PARA DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION EM RÁDIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE- COMUNICAÇÕES SEM FIO

Thiago André dos Santos (IC) e Cristiano Akamine (Orientador)

**Apoio:** PIBIC Mackenzie

### **Resumo:**

Este artigo propõe a análise do software *GNU Radio*, aplicado na tecnologia *LTE (Long Term Evolution)* em Rádios Definidos por Software (RDS). O *GNU Radio* é um software livre e é executado no sistema operacional Linux. Ele possui várias bibliotecas para comunicações digitais que inclui o sistema *LTE*. A análise de desempenho do *GNU Radio/RDS* foram realizadas a partir da geração do sinal *LTE Downlink* dentro da gaiola de *Faraday* do laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia Mackenzie. Várias configurações do sinal *LTE* foram gravadas variando a frequência de amostragem, ganho, frequência, número de *resources blocks*, métodos de modulação e largura de banda. O estudo se baseia na análise do sinal *LTE Downlink*, utilizando exemplos existentes na biblioteca "*gr-lte*".

**Palavras-chave em português:** sinal, *LTE* e *GNU Radio*.

### **Abstract:**

This article proposes the analysis of GNU Radio software, applied to the LTE (Long Term Evolution) technology in Defined Radios for Software (RDS). GNU Radio is a free software and runs on Linux operating system. He has several libraries for digital communications including LTE system. The performance analysis of GNU Radio / RDS were made from the generation LTE Downlink signal inside the Faraday cage of Digital TV Lab of the Engineering School of Mackenzie. Several LTE signal settings have been recorded by varying the sampling frequency, gain, frequency, number of blocks resources, modulation methods and bandwidth. The study is based on analysis of the LTE downlink signal using existing examples in the library "gr-lte".

**Keywords:** signal, *LTE* and *GNU Radio*.

## INTRODUÇÃO

A constante evolução da ciência, que de certa forma, ocorre assustadoramente mais rápida a cada dia, tem proporcionado inúmeras opções de caminhos à serem desbravados e solidificados pela tecnologia, por meio do homem. Por conta das novas descobertas e busca pelo conhecimento, fez-se necessário o aprimoramento e desenvolvimento, como exemplo, dos meios de comunicação. Os meios de comunicação sofreram ao longo da história, mudanças e melhorias até chegar na tecnologia atual. Isto pode ser considerado um dos maiores saltos na evolução da humanidade, tanto tecnologicamente como socialmente, pois relaciona-se diretamente ao modo de viver que se conhece.

Em meio a este contexto, pode-se observar a tecnologia mais evidenciada nos dias de hoje, o 4G, também conhecido como *LTE (Long Term Evolution)*. Atualmente, esta tecnologia, é utilizada por cerca de 1 bilhão de pessoas espalhadas pelo mundo, com estimativas de alcançar 3 bilhões em 2020. Sem contar os acessos móveis de menor qualidade, como o 3G. Segundo dados analíticos levantados pela Anatel, só no Brasil, houveram no início de 2016, até o mês de fevereiro, mais de 258 milhões de acessos móveis, por meio de *smartphones* e outros dispositivos compatíveis. O Gráfico 1 e Tabela 1 refletem a atual circunstância da utilização da telefonia móvel e, conseqüentemente, dos planos de dados no Brasil, ambos retirados do acervo virtual da Anatel.

Gráfico 1 – “Evolução dos acessos em operação na telefonia móvel nos últimos anos.”

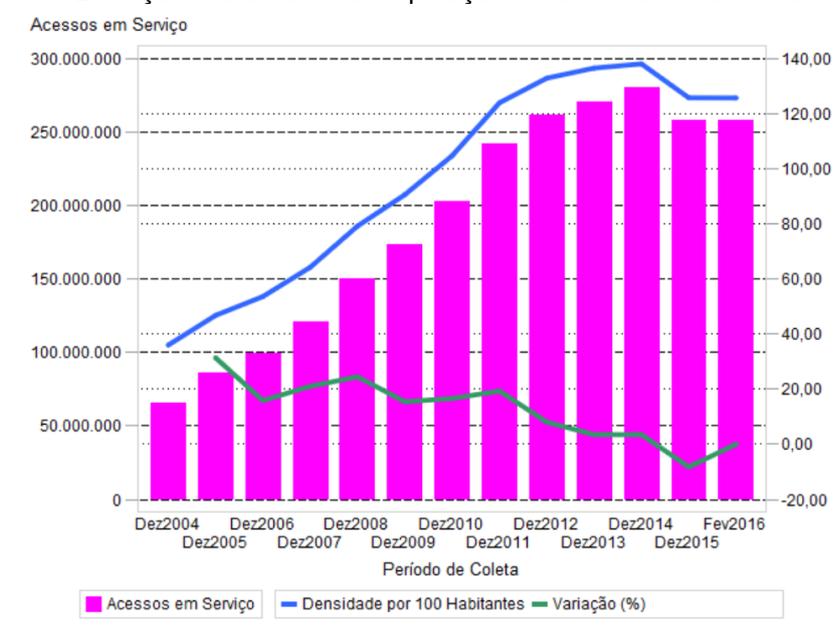


Gráfico 1 - Anatel

Tabela 1 – “Dados de acessos em operação por tecnologia”

1 Análise de dados coletados a partir de dezembro de 2004; dados atualizados pela Anatel no dia 06 de abril de 2016.

Período	CDMA	Dados Banda Larga	GSM	LTE	M2M Especial	M2M Padrão	WCDMA
2015-08	3.127	6.164.134	83.858.669	16.543.314	2.528.133	8.636.337	162.308.888
2015-09	3.133	5.704.205	80.007.539	18.244.421	2.707.925	8.642.926	160.598.993
2015-10	3.093	5.684.778	77.003.793	20.446.594	2.541.504	8.689.800	159.446.589
2015-11	2.922	6.027.212	73.188.959	22.582.691	2.663.842	8.742.670	156.402.969
2015-12	2.477	5.920.519	65.993.506	25.446.700	3.937.968	7.394.557	149.118.547
2016-01	2.159	5.778.846	64.431.169	28.060.845	4.003.370	7.396.530	147.575.131
2016-02	1.265	5.693.159	63.530.304	30.264.987	4.104.034	7.400.591	147.068.437

Tabela 1 – Anatel

Tomando informações desta natureza e observando a evolução das redes móveis no cenário atual, surgiu a indagação quanto à aplicabilidade e funcionamento da tecnologia 4G. Desta forma, foi tomada uma diretriz para este artigo, quanto ao envolvimento do cidadão em relação ao desenvolvimento dos novos meios de comunicação e contribuição para os que já existem, analisando o sinal de *LTE* a partir de um computador pessoal.

Os objetivos propostos por este artigo, de forma geral, são realizar testes com o software *GNU Radio* para simular/emular a camada física do sistema *LTE*, utilizando as bibliotecas e exemplos do *LTE* disponíveis no *GNU Radio*. Testes com sinais gerados no *GNU Radio* usando os rádios *ETTUS USRP B210* foram realizados no Laboratório de TV Digital para verificar a compatibilidade e qualidade do sinal.

## REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com o contexto citado anteriormente, a pesquisa inclui também a questão histórica da utilização dos primeiros rádios definidos por software (RDS, ou SDR, em inglês), o qual foi umas das evoluções tecnológicas mais importantes para telecomunicação da história. Com surgimento nos anos 1970, possuía fins militares, mais especificamente pelo Departamento de Defesa Americana, onde se exigia uma interação simultânea de duas interfaces aéreas ou mais, em variadas faixas de frequências (LIMA, [201-?]). Este conceito proporcionou um grande salto tecnológico para a telefonia móvel. Possui uma plataforma programável através de softwares, possibilitando diversas aplicações, como implementação prática de vários algoritmos que podem ser executados em tempo real, conforme artigo publicado no IEEE *Introduction to the Software- defined Radio Approach* (SELVA et al., 2012).

Além disso, o RDS pode ser programado para emular instrumentos de medida (analisador de espectro, osciloscópio, gerador de sinais, etc.).

O RDS possui um diferencial técnico de extrema importância na atualidade que é a facilidade em se ajustar e modificar suas funções. Realizando a simples troca de software, é possível criar rádios multibanda, multimodo entre outras, atingindo um grau de customização muito elevado, ou seja, uma configuração e caracterização bem específica para cada usuário. Em linhas gerais, a proposta principal deste equipamento é a total flexibilidade para adesão de diferentes softwares e, visando o resultado específico de cada indivíduo (LIMA, [201-?]).

Uma das preocupações atuais, que envolvem o uso do RDS, no mundo da telecomunicação é a utilização da faixa de frequência dos canais de TV digital para transmitir dados. Este é um tema de discussão no Brasil, pois as faixas de frequência da TV variam entre 470 e 800MHz, o que causa polêmica quanto as possíveis interferências por causa do 4G. Com o uso do rádio, é possível obter um sensoriamento espectral, o qual ocupa canais livres para poder transmitir dados para regiões mais afastadas ou com menor densidade demográfica, sem que haja interferência na transmissão dos sinais televisivos (MARTINS; GOMES; de OLIVEIRA; da SILVA, 2014).

Acerca do RDS utilizado neste projeto, o *USRP B210 (Universal Software Radio Peripheral)*, podem ser listadas suas principais características: é uma plataforma muito utilizada para testes nas telecomunicações, com aplicações desde rádio frequências até sinais de internet (transmissão e recepção de dados) e televisão (áudio e vídeo). Possui 2 canais de envio e 2 de recepção (*Half ou Full Duplex*); cobre uma faixa de frequência do 70 MHz aos 6 GHz, e, fornece largura de banda em tempo real de 56 MHz. Possui uma *FPGA Spartan6* totalmente programável, além de, proporcionar um ambiente totalmente configurável, através do *GNU Radio*, para seus experimentos.

Seguindo neste assunto ainda, um equipamento muito importante deve ser lembrado, o *RTL 2832U*, também considerado um RDS, porém de baixo custo. Tal *RTL*, possui características relevantes para estudos e testes em sistemas de telecomunicações, tais como ampla gama de cobertura de frequências que variam de 22 MHz até 2200 MHz, o que possibilita a análise de sinais de rádio AM/FM, TV, GSM e até mesmo o *Long Term Evolution*. A simplicidade e funcionalidade do mesmo chama muita atenção, seu canal de comunicação através de entrada USB permite que o usuário faça suas análises e testes de qualquer computador pessoal (obedecendo alguns requisitos, como o sistema operacional Linux), tendo auxílio de outros *softwares* programáveis para manipular as informações recebidas. Desta forma, sabe-se que cada vez mais este recurso vem sendo utilizado previamente, antes de partir para um RDS profissional propriamente dito (PERONE, 2013).

Uma das formas de se programar o RDS, é através do software *GNU Radio*, onde é possível simular e emular sistemas de comunicação. O *GNU Radio* é um software livre, que possui toda infraestrutura necessária para desenvolver blocos de processamento digital de sinais e sistemas de comunicação compatíveis com a maior parte dos rádios disponíveis no mercado. Este software deve ser utilizado em um sistema operacional *Linux (Ubuntu)*, o qual a versão utilizada foi *Ubuntu 14.04.2* de 64 bits.

Uma de suas características é a disponibilidade de execução dos programas em tempo real. Em linhas gerais, o software *GNU Radio* é responsável pela interface entre os blocos de processamento do sinal recebidos e o rádio onde o sinal é amostrado e digitalizado (BRAUN; HILBURN; LAZAREV, 2011).

Antes do aprofundamento no assunto deste artigo, não pode deixar de ser citado o que é, e qual importância do *3GPP* para a tecnologia *LTE*. O *3GPP*, também conhecido como *3rd Generation Partnership Project* ou, apenas *3G*, nada mais é que uma normatização/padronização convencionado por associações de telecomunicações do Estados Unidos, Europa, Japão, Coreia do Sul e China. O *3GPP* define especificações GSM e WCDMA para um sistema móvel completo, incluindo aspectos relativos aos terminais, redes de acesso de rádio, redes principais, e partes da rede de serviços.

Ao decorrer dos anos, inevitavelmente, a evolução desta tecnologia foi sem igual. Como por exemplo a taxa de dados suportados, pelo *Release 99* (primeira versão das especificações do *3G*, responsável pela consolidação do GSM, incorporando a interface de rádio WCDMA), o qual era de “apenas” 384kbits/s, que foi aumentado em 1000 vezes dentro de um período de 10 anos, conforme a necessidade do menor custo e aumento dos serviços (mais transferência e download de dados).

Segundo estudos levantados pela *Wireless Personal Communications*, em 2010, observou-se uma preocupação da parte da sociedade quanto ao envio e recebimento de dados, muito mais do que com o próprio serviço de voz. Os índices apontaram um crescimento de aproximadamente 10 vezes mais, na procura por smartphones e pacotes de dados, no período de 2007 a 2009. Isso se deu ao avanço encontrado na tecnologia de terceira geração, baseada em *IP Orthogonal Frequency Division Technology Multiple Access (OFDMA)*, fornecendo alto desempenho da plataforma de banda larga com baixo nível de latência e velocidade na transmissão consideravelmente rápida.

Uma das aplicações que se pode usufruir do *GNU Radio/RDS* é a geração da camada física do *LTE*, mais conhecida como *4G*, onde é possível estudar cada estágio de processamento desta tecnologia. A crescente demanda por aplicações interativas baseadas em multimídia, tais como streaming de vídeo, redes sociais, jogos ao vivo, e-learning,

navegação e sincronização dos dados na nuvem exigem e uma Qualidade de Serviço (QoS), que coloca uma grande pressão sobre a próxima geração de redes móveis (ZOU; TRESTIAN; MUNTEAN, [2013?]).

Este sistema, nada mais é, que o padrão mais atual e avançado no que diz respeito a transmissões de dados, envio e recebimento, em alta velocidade, ou seja, utilização de bandas ultra largas (ROMER, 2013); atingindo velocidade de Download em torno de 100Mbps e para Upload de 50Mbps.

Segundo o artigo publicado em 2010 pela Rice University os estudos realizados na tecnologia 3GPP LTE, tem trazido muitas descobertas e empolgação, gerando meios para tornar-se realmente possível o uso da tecnologia 4G num futuro próximo, já que foi constatado a alta eficiência e elevado rendimento comparado ao 3G, podendo alcançar um pico na sua transmissão de taxa de dados na ordem de 326,4Mbps, que seria superado apenas pelo *LTE – Advanced*, com uma taxa máxima de 1Gbps, conforme artigo publicado na revista IEEE, de fevereiro de 2012.

O cenário atual para a implantação da tecnologia 4G no Brasil é um pouco mais delicado quanto parece. Vivemos um momento onde a transição completa dos canais da TV Analógica ainda não se deu, por conta de diversos fatores, sendo um deles, o fato de muitas famílias não terem condições de comprar uma TV que suporte à tecnologia digital ou, até mesmo, por falta de conversores dentro das casas.

Esta situação implica num atraso considerável quanto à implantação “completa” do 4G em todos os municípios do Brasil, pois a faixa de frequência destinada a tecnologia 4G é a mesma utilizada por esses canais analógicos, entre os 700 e 800MHz. No primeiro momento a Anatel homologava as condições de implantação completa até 2017, ocorrendo de forma gradativa, primeiro em cidades-sede das copas de futebol e posteriormente nas demais. Isso não ocorreu como se esperava, portanto, um novo prazo até 2018 foi estabelecido, onde ocorrerá um “desligamento” do sinal analógico em algumas localidades.

Outra preocupação com o 4G é quanto uma possível interferência na TV Digital, já que esta utiliza a faixa de frequência entre 400 a 800MHz. Estudos apontam a existência de alguns tipos de interferências na transmissão do sinal digital, nos canais próximos a faixa de 800Mhz. Desta maneira, com diversas condições não favoráveis, o uso completo do 4G no Brasil ainda pode demorar algum tempo, dependendo de muitos fatores a serem solucionados.

Existem duas faixas de frequência destinadas ao LTE no Brasil. A faixa de 2,5 GHz que está em operação em algumas cidades brasileiras e a faixa de 700 MHz. A faixa de 700 MHz foi recentemente leiloadada e tem como prioridade o tráfego de dados ao invés da voz.

Atualmente, a maioria dos usuários de telefonia móvel estão se preocupando muito mais com envio e recebimento de dados, do que propriamente com as ligações de voz.

Além do alto desempenho na transmissão de dados (perdendo apenas para o *LTE – Advanced*), é um sistema constituído de pacotes que possuem menos elementos de rede, o que melhora sua capacidade e cobertura, além disso, também proporciona baixa latência de acesso e largura de banda flexível. Quanto ao sistema *LTE-A (Release 10)*, especificada também pelo *3GPP*, foi desenvolvido com intuito de melhorar os sistemas *LTE* existentes, para suportar uso de dados ainda maior, com latências mais baixas e melhor eficiência espectral (GHOSH; RATASUK; MONDAL; MANGALVEDHE; THOMAS, 2010).

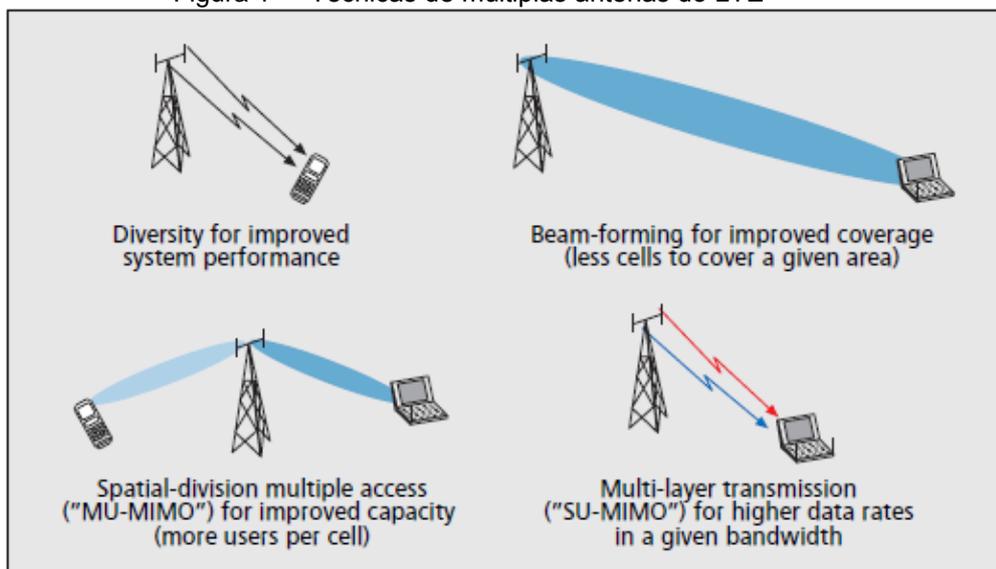
Segundo testes realizados e homologados pela *Universal Mobile Telecommunications System – UMTS*, é de conhecimento global que a tecnologia em questão, oferece ao usuário final valores de 300 Mb/s para *Downlink* e 75 Mb/s de pico em *Uplink*, com largura de banda de 20 MHz (com flexibilidade de até 20 MHz), reforçado pelo artigo do IEEE em sua edição de Junho de 2010. Em contrapartida, estudos são feitos constantemente para se comprovar e implementar os benefícios e melhorias do *LTE-A*, como, aumento da largura de banda até 100 MHz, múltipla transmissão input e output, entre outras.

A transmissão de dados do *LTE* ocorre através de subportadoras com banda estreita (*Orthogonal frequency division multiplexing – OFDM*), fato, este, que proporciona alta resistência à dispersão no canal do rádio, sem a necessidade da equalização complexa do outro canal situado no lado receptor. Desta forma, percebe-se algumas vantagens e melhorias no *downlink*, quando comparado ao 3G, como por exemplo, mais simplicidade no processamento da banda receptora, implicando na redução de custos e consumo de energia no terminal. Já na forma de transmissão *uplink*, temos algumas distinções, pois a potência de transmissão é bem menor, logo, ao invés da quantidade de potência para processamento, é a capacidade de transmissão de energia com alta eficiência como um dos fatores mais importantes, fazendo com que a cobertura seja melhor e, também, redução dos custos no terminal e consumo de energia nos transmissores.

Ainda sobre transmissão, não podemos esquecer de citar a multiplexação espacial, que acompanha a tecnologia *LTE* desde os primeiros testes; nada mais é que uma fragmentação do sinal de entrada do transmissor, dividido em feixes menores e independentes entre si, de forma que ocupem menor banda se comparado ao sinal completo à ser enviado por um único canal. Antenas acopladas em seus transmissores, são as responsáveis pelo envio dos feixes, todos na mesma frequência, que, em seguida, serão recuperados por receptores (reagrupando em um único sinal).

Na camada física, os dados, à serem transmitidos, passam por codificação e modulação, através de técnicas de deslocamento de fase por quadratura (*QPSK – quadrature phase shift keying*), 16 ou 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). O espaçamento da subportadora é de 15 KHz e dois comprimentos de prefixos cíclicos (tanto para *downlink* como para *uplink*), sendo o normal de 4,7 ms e o prolongado de 16,7 ms (para ambientes altamente dispersivos).

Figura 1 – “Técnicas de múltiplas antenas do LTE”



2

Figura 1 – IEEE; LTE: The Evolution of Mobile Broadband, 2009

Ainda em tempo, verificou-se também, através da tese escrita em 2012, pelo criador da biblioteca do *LTE* no *GNU Radio*, Johannes Demel, a funcionalidade desta biblioteca e seus recursos teóricos empregados, até chegar na interface amigável para o usuário. Desta forma, foi estudada a função e a importância do prefixo cíclico (CP) em uma transmissão/recepção de sinal do 4G.

O prefixo cíclico (CP) é uma informação que se repete num ciclo periódico. Quanto maior o tamanho do símbolo, menor serão as interferências de transmissão (o tamanho do *delay spread* se torna relativamente menor comparado ao tamanho maior). Assim como

2 Representação quanto a diversidade do sistema de multi-antenas, destacando o modelo de formação por feixes (aumenta cobertura de determinada área utilizando menos células) e o sistema *MIMO* para divisão espacial (melhor capacidade) e múltiplas camadas (maior taxa de dados em uma determinada largura de banda) (ASTÉLY; DAHLMAN; FURUSKÄR; JADING; LINDSTRÖM; PARKVALL, 2009);

3 Medição usada, de certa forma, para avaliar os canais de um equipamento; é a diferença de tempo entre a chegada do primeiro pacote de informação do sinal, em relação ao último.

qualquer outra transmissão e recepção por símbolos, o LTE sofre com as interferências entre símbolos.

O que o CP faz é copiar uma pequena parte das informações iniciais (por isso o nome prefixo) para o final de cada símbolo (por isso o nome cíclico). Dessa forma, o receptor consegue identificar os pontos finais de cada símbolo e correlacionar corretamente as informações, eliminando assim o problema da interferência.

Outra relação que o prefixo cíclico tem com a transmissão do 4G é a questão das distâncias. Sendo que os tamanhos dos prefixos alteram dependendo da região situada e o tipo de informação a ser transmitida. Por exemplo o uso da internet móvel nas metrópoles, onde as informações e dados são “trocados” em pequenas distâncias, fazem com que o CP possa ser menor; porém, caso contrário, no uso da internet em áreas rurais, o CP deve ser maior, por conta das maiores distâncias.

Acerca da demodulação do sinal do *LTE*, é utilizado o “*Flow Graph*”, também estudado na tese de Johannes, é uma representação gráfica, após o tratamento do sinal por diversos blocos com funções diferentes. É necessária uma fonte com o sinal a ser estudado, no caso o próprio gerador e o RDS, onde, passará por um deslocamento de frequência que transformará a informação em amostras, com uma estrutura de quadros conhecidos. Após a sincronização, o CP é removido, de forma que este sinal seja passado para o domínio da frequência através de uma Transformada de Fourier Rápida. Até ser demodulado pelo bloco *MIB Unpack*, no final deste ciclo, o sinal sofre ainda uma série de fatores de correção de antena e decodificações, até que então, seja acrescentado uma verificação por meio do bloco “*CRC Calculator*”, e enfim mostrado o sinal.

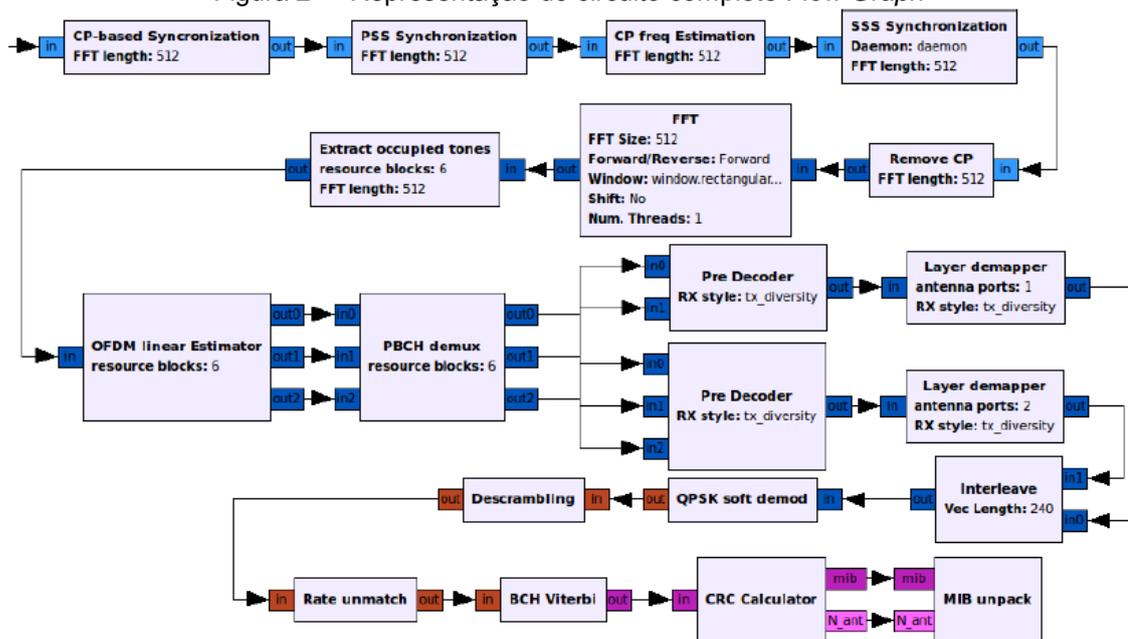
Figura 2 – “Representação do circuito completo *Flow Graph*”

Figura 2 - GNU Radio; DEMEL, Johannes;2012

## METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas partes: exploratório e explicativo. A pesquisa exploratória refere-se ao funcionamento do RDS e a forma com que este interage com a tecnologia 4G, gerando simulações e análises através do *software GNU Radio*. Quanto à pesquisa explicativa, serão apresentados e interpretados os resultados dos testes gerados no computador (teórico), comprovando ou não, de forma eficaz ou não, a implementação do *LTE* no RDS de forma prática, promovendo futuras expectativas quanto ao tema abordado.

A partir da coleta de referências científicas e acadêmicas, descritas anteriormente, foi dado o passo seguinte na pesquisa, a instalação do sistema operacional *Linux (Ubuntu)*. Embora tenha sido um dos primeiros passos da pesquisa, esta etapa pode ser considerada uma das mais importantes deste trabalho, pois é necessário que esta instalação obedeça categoricamente algumas exigências e pré-requisitos, caso contrário, não será possível obter o funcionamento correto do *GNU Radio*, e muito menos das bibliotecas adicionais.

É correto afirmar que a grande maioria das pessoas que possuem computador pessoal utilizam o sistema operacional *Windows*, da *Microsoft*; e neste caso, não foi diferente. Desta forma, foi preciso recorrer a um recurso chamado de “*dual boot*”, o qual, quando ligar o computador, fornecerá a opção de escolher qual sistema operacional quer-se prosseguir. A versão utilizada para o *download* (diretamente do site do *Ubuntu*) e que deve ser instalada é a 14.04.2, para computadores de 64 bits. Utilizou-se diversos tutoriais e manuais de instalação, contando muitas vezes com “tentativas e erros”, e, com a ajuda da equipe de pesquisadores do laboratório de TV Digital do Mackenzie, o *Ubuntu* foi instalado com sucesso.

Tendo concluída a instalação do sistema operacional, a próxima etapa é fazer o *download* do software *GNU Radio*. Através de um procedimento específico (fornecido pelo orientador), deve-se executar, dentro do “*Terminal*” da plataforma, os comandos necessários para configurar o software e deixá-los com os módulos corretos que serão utilizados nos testes. Para completar a instalação, é necessário adicionar também a biblioteca “*gr-lte*”, por meio de comandos especificados no procedimento.

Após seguir estes procedimentos, o computador está apto a servir de simulador do sinal *LTE*. O RDS utilizado, como citado anteriormente, é o *ETTUS USRP B210*, que também necessita de uma configuração especial, através de comandos no “*Terminal*”. O software reconhece o rádio, habilitando-o para servir como uma fonte de sinal.

O gerador de sinais, modelo *Agilent E4438C 250KHz ~ 3GHz ESG Vector Signal Generator*, localiza-se dentro da gaiola de Faraday. Este equipamento, como o próprio nome diz, gera o sinal desejado, de acordo com os valores exigidos e o tipo de modulação necessária. Ele é configurado através de um software chamado *Agilent Signal Studio for LTE-LTE Advanced FDD*, selecionando a largura de banda e o tipo de modulação do sinal. O gerador é conectado com o analisador de sinais (*FSV – Signal Analyzer – 10Hz ~ 4GHz*), que serve para medir a potência de acordo com as exigências da simulação. O sinal sofre uma atenuação, pelo atenuador *ROHDE & SCHWARZ*, o qual é enviado com -40dBm de ganho na entrada do RDS; este equipamento se comunica com o rádio através de um cabo coaxial com impedância de 50 ohms. Neste momento, o conjunto de equipamentos funciona como uma antena de recepção, que transmitem o sinal ao usuário final, no caso o *GNU Radio*. A frequência central do gerador foi ajustada para 806 MHz, então, de acordo com os dados levantados previamente, foram gravados nove tipos de sinais *LTE*, obedecendo as modulações *QPSK*, *16 e 64-QAM*, *resources blocks*, ajustados, em cada momento, para as seguintes larguras de banda: 1.4, 10 e 20 MHz.

Utilizou-se como referência a biblioteca do *LTE* do *GNU Radio*, de modo que fossem criadas duas variáveis, “*ganho*” e “*freq*”, as quais foram atribuídos valores para ganho do sinal e frequência de amostragem, respectivamente 33 dB e 780.5 MHz. A variável “*Sample Rate*” (taxa de amostragem), deve ser ajustada com uma frequência de 32 MHz. Desta forma, obteve-se representações gráficas dos espectros correspondentes aos sinais de *LTE* gerados, que foram gravados para análise de seus resultados.

A gravação do sinal ocorre de maneira simples, utiliza-se o bloco “*File Sink*”, presente na biblioteca do software, como entrada do sinal fornecido pelo rádio (“*USRP Source*”), transformando estes sinais em arquivos. Enquanto houver simulação de recepção, o bloco em questão continua gravando. Estas gravações são de grande valia para testes futuros, pois,

quando não tiver o RDS por perto, utiliza-se estes arquivos salvos para poder simular alguma transmissão/ recepção através dos blocos existentes.

Figura 3 – “Circuito para recepção do sinal LTE através do RDS USRP B210”

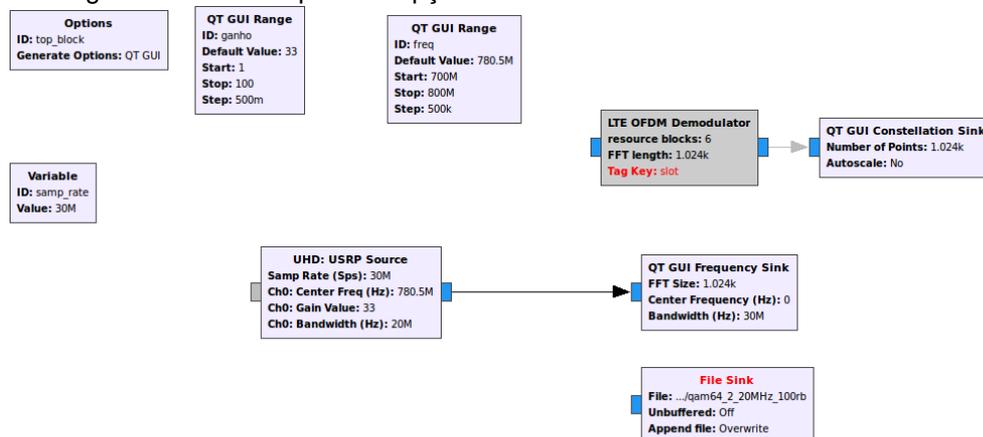


Figura 3 - GNU Radio

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após configuração dos equipamentos e do software, e, baseado nas referências levantadas ao longo da pesquisa, pode-se obter resultados quanto a utilização de um rádio definido por software para transmitir um sinal de LTE, utilizando um computador pessoal.

Foram observados diferentes comportamentos para cada tipo de modulação. A partir dos gráficos espectrais e das taxas de amostragem pré-selecionadas, conseguimos obter a análise esperada, verificando cada largura de banda dos sinais em questão.

Gráfico 2 – “Modulação 16 QAM, com taxa de amostragem de 32 MHz ”



Gráfico 2 - GNU Radio

Gráfico 3 – “Modulação 64 QAM, com taxa de amostragem de 32 MHz ”



Gráfico 3 - GNU Radio

Gráfico 4 – “Modulação QPSK, com taxa de amostragem de 32 MHz ”

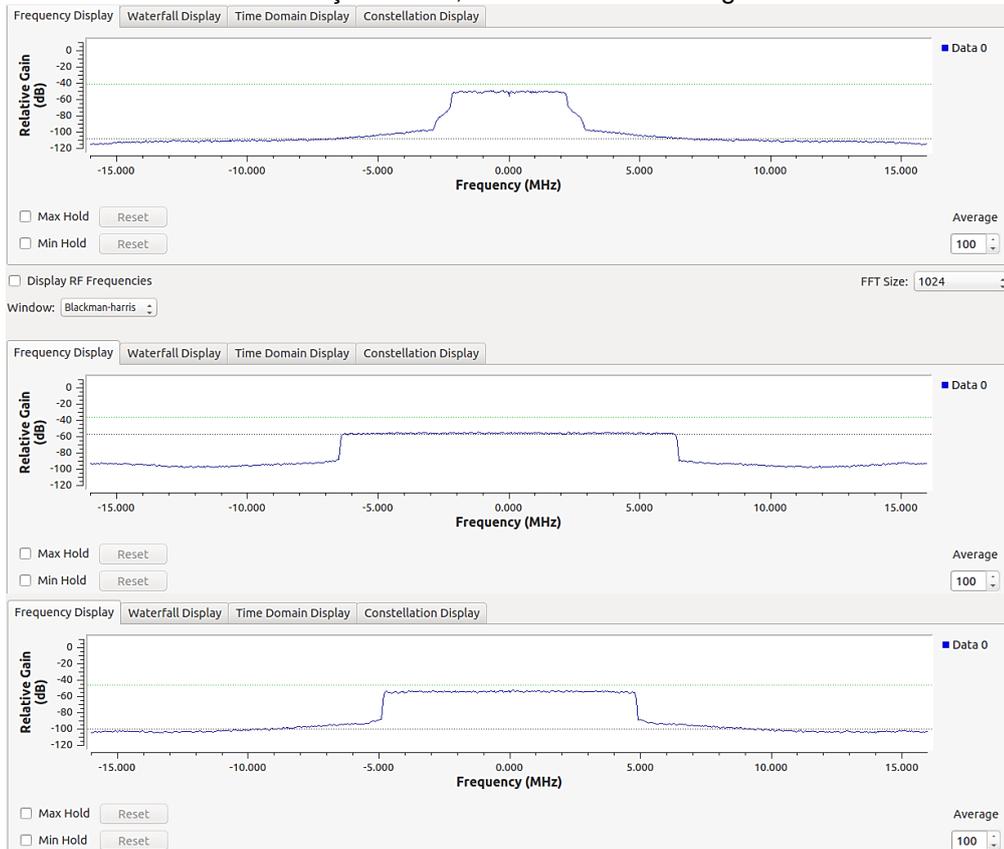


Gráfico 4 - GNU Radio

Para cada tipo de modulação, obtêm-se 3 gráficos, que representam as diferentes larguras de banda escolhidas na geração do sinal, sendo na ordem 1.4, 10 e 20 MHz, com seus valores correspondentes de “Resources Blocks”, 6,50 e 100. Para obter a demodulação do sinal do LTE, e, conseqüentemente, sua respectiva constelação, é utilizado o exemplo de recepção SISO presente na biblioteca do software.

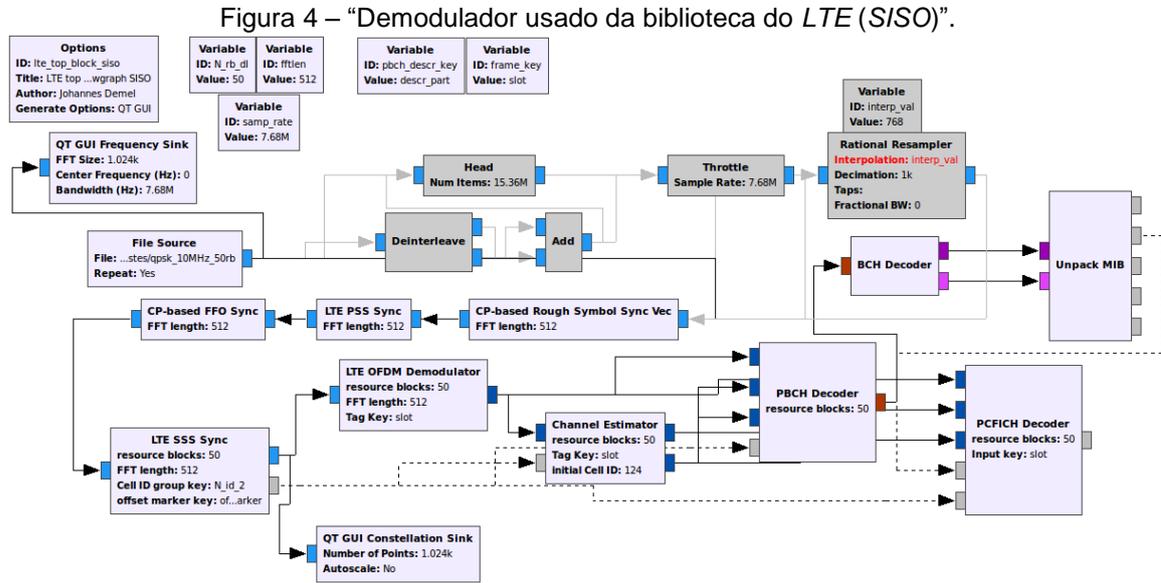


Figura 4 - GNU Radio; DEMEL, Johannes;2012.

Adiciona-se o sinal gravado na entrada do receptor, onde, de acordo com sua configuração, é necessário alterar o valor de Resources Blocks e taxa de amostragem. Desta forma, é possível verificar o sinal demodulado.

Gráfico 5 – “Espectro do sinal de LTE demodulado e sua constelação”.

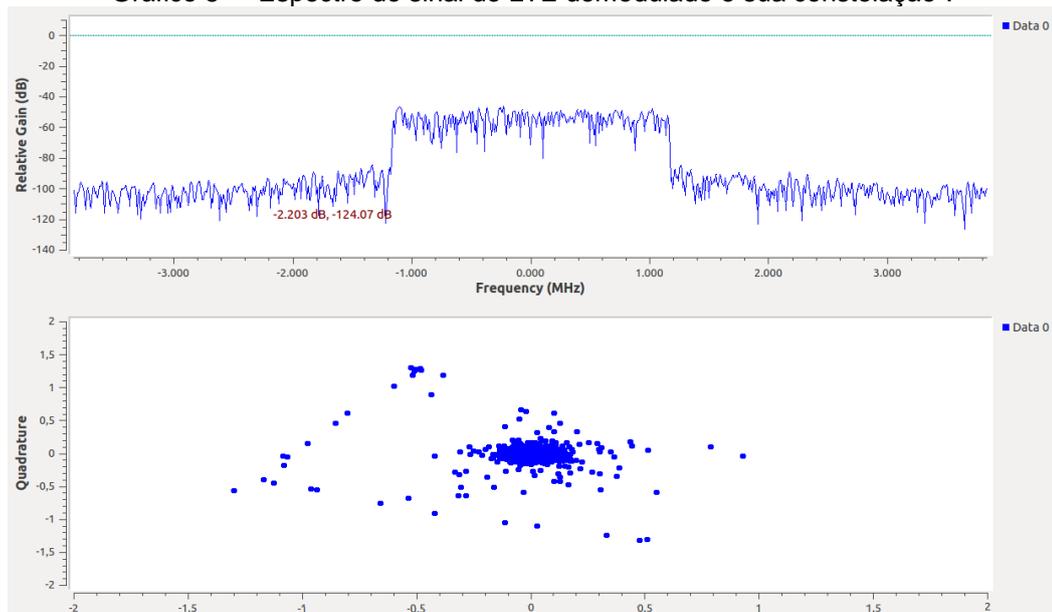


Gráfico 5 - GNU Radio

A caixa de diálogo do *GNU Radio* apresenta também uma verificação que o sinal foi simulado corretamente, da seguinte forma:

```
sync_pss_calculator_vcm_0 NEW half_frame_start = 0   N_id_2 = 1   corr_val   =  
11804,530273
```

```
sync_pss_calculator_vcm_0 is locked! half_frame_start = -790   N_id_2   =   1  
corr_val = 11804,530273
```

Portanto, comprovou-se que é possível a implementação do rádio definido por software em simulações de sinais do *LTE*. Através destes experimentos, foi possível realizar a simulação do sinal *LTE Downlink*.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Software *GNU Radio* e biblioteca *gr-lte* são poderosas ferramentas de simulação e emulação. O uso do RDS permite realizar a captura de sinais de RF e realizar a análise do sinal *LTE Downlink* no *GNU Radio*. Como não foi possível realizar o ajuste da Frequência de Amostragem, não foi possível realizar a demodulação e visualização das constelações *QPSK*, *16-QAM* e *64-QAM*.

## Agradecimentos

Aos colegas pesquisadores do Laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia Mackenzie, e, especialmente ao meu orientador, pela paciência e suporte ao longo da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ABOUT RTL-SDR. [2013?]. Disponível em: <<http://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>>. Acesso em: 30 out. 14.

ASTÉLY, David et al. LTE: The Evolution of Mobile Broadband. IEEE Communications Magazine: LTE PART II: 3GPP RELEASE 8, ?, v. 9, n. 0163-6804, p.44-51, abr. 2009.

BHAT, Vodafone Prakash et al. LTE-Advanced: An Operator Perspective. IEEE Communications Magazine: LTE-ADVANCED AND 4G WIRELESS COMMUNICATIONS, ?, v. 50, n. 0163-6804, p.104-114, fev. 2012.

BIMBI JUNIOR, S.; OLIVEIRA, Vitor C. de; BEDICKS JUNIOR, Gunnar; Rádios Definidos por Software com aplicações GNU Radio. *SET EXPO PROCEEDINGS*, 2015, v.1, p.13-16, 2015. Edição Especial. Disponível em: < <http://set.org.br/setep/pdfs/artigo2.pdf> >. Acesso em: 12 fev. 2016.

BRAGA, Lucas. **Anatel leiloa 4G nas frequências de 450 MHz e 2,5 GHz**. 2012. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/104087/anatel-leilao-4g/>>. Acesso em: 22 out. 14.

BRAGA, Lucas. **LTE: saiba como o 4G funciona**. 2011. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/88088/lte-4g-como-funciona/>>. Acesso em: 28 out. 2014.

BRASIL tem mais celulares que pessoas. 2011. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EMI203626-15224,00.html>>. Acesso em: 27 out. 14.

BRAUN, Martin; HILBURN, Ben; LAZAREV, Vadim. **What is GNU Radio and why do I want it?** 2011. Disponível em: <<http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/WhatIsGR#What-is-GNU-Radio-and-why-do-I-want-it>>. Acesso em: 30 out. 2014.

CAMPANHA sobre fim da TV analógica começa em São Paulo. Capital paulista e mais 27 municípios do estado vão receber sinal de TV digital a partir de maio de 2016. 05 mai.2015. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/05/campanha-sobre-fim-da-tv-analogica-comeca-em-sao-paulo> >. Acesso em: 30 maio 2015.

CAO, Maode Ma Jin et al. A Survey on Security Aspects for LTE and LTE-A Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, ?, v. 16, n. 1, p.283-302, 2014. Quarter.

DEMEL, Johannes. *Empfang von LTE-Signalen in GNU Radio*. 11 nov. 2012. 71f. Tese de Licenciatura (Communications Engineering Lab). KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Alemanha.

EQUIPAMENTOS 4G. 2013. Disponível em: < <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNivelDois.do?codItemCanal=1856> >. Acesso em 29 maio 2015.

FERREIRA, João L. R. Arquitetura e Funcionamento. In: FERREIRA, João L. R. *MIMO: "Multiple Input Multiple Output"*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: < [http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/joao\\_luiz/arquitetura.html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/joao_luiz/arquitetura.html) >. Acesso em: 30 maio 2015.

GET Ready For LTE-ADVANCED." *Microwaves & RF* 1 Mar. 2011. Academic OneFile. Disponível em: < <http://go-galegroup.ez347.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?&id=GALE|A312430123&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w> >. Acesso em: 25 jun. 2015.

GHOSH, Amitava et al. LTE-ADVANCED: NEXT-GENERATION WIRELESS BROADBAND TECHNOLOGY. *IEEE Wireless Communications: INVITED PAPER*, ?, v. 10, n. 1536-1284, p.10-22, jun. 2010.

LICITAÇÃO de frequências de 4G da Anatel. 16 out. 2012. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/4g\\_brasil\\_lic.asp](http://www.teleco.com.br/4g_brasil_lic.asp)>. Acesso em: 30 maio 2015.

LIMA, André Gustavo Monteiro. **Rádio Definido por Software: O próximo salto no mundo das telecomunicações e comunicação**. [201-?]. Disponível em: <[http://www.revdigonline.com/artigos\\_download/art\\_13.pdf](http://www.revdigonline.com/artigos_download/art_13.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2014.

LONGHAO ZOU; TRESTIAN, R.; MUNTEAN, G.-M., A utility-based priority scheduling scheme for multimedia delivery over LTE networks, *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2013 IEEE International Symposium on* , vol., no., pp.1,7, 5-7 June 2013.

LTE. [201-?]. Disponível em: < <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte> >. Acesso em: 20 jun. 2015.

LTE: 4G no Mundo. 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/lte.asp>>. Acesso em: 09 abr. 16.

OLANDERS, Peter. **SDR and Cognitive Radio: Challenges and Possibilities**. 2009. Disponível em: <[http://ieeepk.org/typo3/Notes\\_and\\_handouts/SDR\\_CR\\_Danish\\_Nov\\_2009xx.pdf](http://ieeepk.org/typo3/Notes_and_handouts/SDR_CR_Danish_Nov_2009xx.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2014.

PERONE, Christian S. **Rastreamento em tempo real de aviões em Porto Alegre utilizando a Raspberry Pi + Radio UHF (RTL2832U)**. 2013. Disponível em: <<http://pyevolve.sourceforge.net/wordpress/?p=2433>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

LUIZ GARCIA REIS, A.; BARROS, A.F.; GUSSO LENZI, K.; PEDROSO MELONI, L.G.; BARBIN, S.E., Introduction to the Software-defined Radio Approach, *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, vol.10, no.1, pp.1156,1161, Jan. 2012.

MARTINS, Altieres M.; SOUZA GOMES, Frederico J. de; OLIVEIRA, Messias de; SILVA, Ricardo E. da. *Rádios Cognitivos I: Utilização nos Sistemas de Comunicação Sem Fio*. 31 mar. 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialradioscognitivos1/>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

RELEASE 1999. [201-?]. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/specifications/releases/77-release-1999>>. Acesso em: 30 maio 15.

SUN, Yang; CAVALLARO, Joseph R.. Efficient hardware implementation of a highly-parallel 3GPP LTE/LTE-advance turbo decoder. **Integration, The Vlsi Journal**. Houston, p. 305-315. 17 jul. 2010.

TELEFONIA Móvel – Acessos. 24 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/index.php/component/content/article?id=283>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

TUTORIAIS Telefonia Celular: HSPA e WiMax Móvel I: Como comparar o desempenho na teoria e na prática. 2013. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspawimax1/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspawimax1/pagina_2.asp)>. Acesso em: 12 mar. 16.

USRP B200/B210 Bus Series. [201-?]. Disponível em: < [http://www.ettus.com/content/files/b200-b210\\_spec\\_sheet.pdf](http://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf) >. Acesso em: 10 out.2015

**CONTATOS:** thiagoandre.s@hotmail.com e cristiano.akamine@mackenzie.br