

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA AQUISIÇÃO DA AMPLITUDE DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM SISTEMA TRANSCÉPTOR DE RÁDIO DIGITAL UTILIZANDO O MÓDULO USRP E O SOFTWARE GNU RADIO

Paulo Victor R. Ferreira, Priscila C. A. Diniz, Gustavo N. Rocha, Antônio C. P. Veiga
Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG,
paulovrf@hotmail.com , priscilacrisfir@gmail.com , nozella@gmail.com , acpveiga@ufu.br

Resumo – O objetivo deste documento é apresentar uma técnica que permite adquirir a amplitude da resposta em frequência de um sistema transceptor de diferentes configurações entre duas placas receptoras BasicRx e LFRX e duas placas transmissoras BasicTx e LFTX, na faixa de frequência de 1MHz a 30MHz usando o módulo USRP (Universal Software Radio Peripheral) para implementar um Rádio Definido por Software (RDS) baseado no software GNU Radio.

Palavras-Chave –GNU Radio, Medição de amplitude, Rádio definido por software, RDS, Universal Software Radio Peripheral.

PROTOTYPE DEVELOPMENT FOR AMPLITUDE FREQUENCY RESPONSE ACQUISITION OF A DIGITAL RADIO TRANSCEIVER USING THE USRP MODULE AND THE GNU RADIO SOFTWARE

Abstract – The objective of this document is to show a technique that allows to acquire the amplitude of the frequency response of a transceiver with different configurations between two receiver daughter boards BasicRx and LFRX and two transmitter daughter boards BasicTx and LFTX at frequency range from 1 up to 30MHz using USRP (Universal Software Radio Peripheral) module to implement Software Defined Radio (SDR) based on GNU Radio software.

Keywords –Amplitude measurement, GNU Radio, SDR, Software Defined Radio, USRP

I. INTRODUÇÃO

A evolução da ciência e da tecnologia atinge direta ou indiretamente todas as áreas do conhecimento. Sendo assim, não seria diferente com a engenharia de telecomunicações, de modo que a forma mais evidente dessa evolução tem sido

a convergência dos sistemas de comunicações analógicos para um ambiente 100 % digital.

Sob este aspecto foi criado o conceito de rádio digital que está sendo desenvolvido através da tecnologia Rádio Definido por Software (RDS) [1], [5].

Idealmente essa tecnologia visa substituir praticamente todos os componentes analógicos que processam os sinais por um sistema digital implantado totalmente em software. O objetivo é amostrar o sinais digitalmente o mais próximo possível da antena, no caso de uma recepção, e converter os sinais digitais em analógicos o mais próximo possível da antena, no caso de uma transmissão.

A Figura 1 representa o conceito da tecnologia RDS sob a forma de um diagrama de blocos.

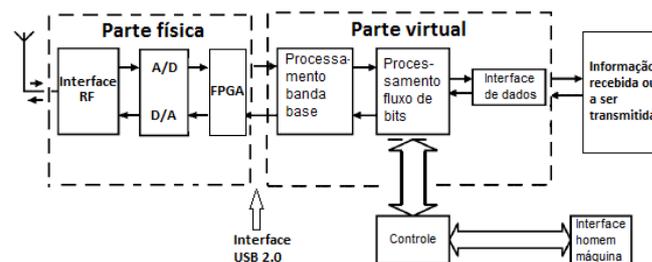


Fig. 1. Diagrama de blocos de um sistema RDS completo

Na prática, para a implementação de um sistema de comunicações RDS são necessários dois componentes principais. São eles: um módulo virtual para processar os sinais em tempo real e implementar virtualmente qualquer tipo de modulador, demodulador, filtro, oscilador ou operação matemática necessária ao processamento dos sinais e um módulo físico para acomodar as antenas receptoras e transmissoras e realizar a aquisição e conversão dos sinais de analógico para digital e vice-versa.

O módulo virtual é implementado através do kit de desenvolvimento GNU Radio de código aberto que é instalado no sistema operacional Linux. Esse módulo reúne um conjunto de blocos de processamento de sinais em banda base que são utilizados para preparar os sinais para praticamente qualquer tipo de sistema de comunicação, desde que cada função específica seja previamente implementada.

Desse modo é possível personalizar cada bloco de processamento de acordo com as especificações desejadas, além de ser permita a adição de novos blocos. Os principais blocos de modulação e demodulação, geradores de sinais e interfaces com o módulo USRP já vêm implementados no GNU Radio.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

Cada bloco de processamento é implementado em linguagem C++ e são interligados através de scripts em linguagem Python, código fonte do sistema de comunicação.

E para uma utilização prática da construção de sistemas de comunicações de modo prático, rápido e intuitivo, juntamente com o GNU Radio é instalado um software de interface gráfica, cujo nome é GNU Radio Companion (GRC), para a criação dos sistemas de modo visual baseado no conceito de diagrama de blocos em que é possível observar o fluxo dos dados. É possível também criar um sistema de comunicação completo através de linhas de comando no terminal Linux utilizando os mesmos blocos de processamento do GNU Radio, porém dessa forma será mais demorado e difícil.

O módulo físico utilizado neste documento é o USRP (Universal Software Radio Peripheral) produzido pela Ettus Research [2]. Este módulo é composto por uma placa-mãe e diversas placas-filhas. A placa-mãe abriga uma FPGA (Field Processing Gate Array) modelo Altera Cyclone EP1C12 responsável pela coordenação das atividades de adequação dos sinais para transmissão (interpolação) ou recepção (decimação), controle de fluxo de dados, translação de frequência intermediária para banda base e vice-versa, operações de alta velocidade como conversões digitais para cima ou para baixo executadas pelos digital up/down converters (DUC's / DDC's), entre outras.

O USRP possui basicamente quatro Conversores Analógico/Digital (CAD's) de alta velocidade com 12 bits por amostra, amostradas a uma taxa de 64M amostras por segundo (aps), e quatro Conversores Digital/Analógico (CDA's) de alta velocidade com 14 bits por amostra, amostradas a uma taxa de 128M amostras por segundo. Os CAD's e CDA's estão conectados a FPGA que utiliza uma interface USB 2.0 para conexão com um computador que possui o software GNU Radio [3] instalado.

A Figura 2 [4] mostra a arquitetura básica do USRP.

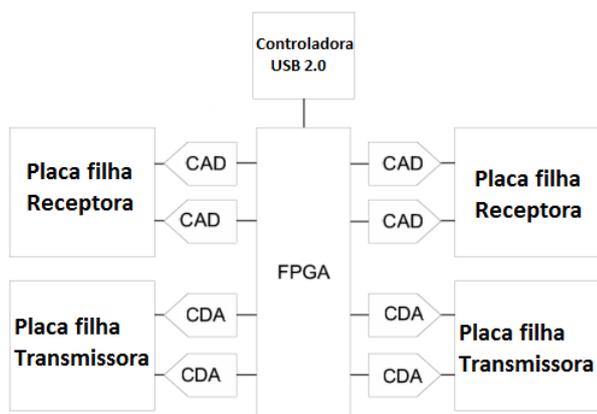


Fig. 2. Diagrama de blocos padrão do USRP

Como a comunicação entre o USRP e o computador se dá através de uma interface USB 2.0, a taxa máxima de transferência total é de 32 MBps. Os dados transmitidos pela USRP estão no formato complexo, em que cada amostra é composta pela parte real de 16 bits e pela parte imaginária, também de 16 bits, resultando em 4 bytes por amostra complexa.

Assim, a taxa real total a ser recebida ou transmitida pelo USRP via interface USB é de $32 \text{ MBps}/(4 \text{ bytes}) = 8 \text{ M}$ amostras por segundo. Como taxa de amostragem mantém uma relação direta com a largura de banda do espectro do sinal, a largura de banda máxima do sistema é 8 MHz [2].

Uma outra particularidade deste sistema é a necessidade de interpolação para aumentar a taxa de transmissão e decimação para diminuir a taxa de recepção, pois os CDA's e CAD's do módulo operam com as taxas fixas de amostragem já descritas.

As placas-filhas são conhecidas como '*RF Front-Ends*' e implementam a interface de rádio frequência entre as partes física e virtual do sistema de comunicação. Cada modelo é responsável por cobrir uma faixa de frequência específica do espectro. Sua principal função é implementar a conexão com a antena e sintonizar o oscilador local para a frequência alvo mais próxima tanto para transmissão quanto para recepção e enviar o valor resultante dessa operação para a FPGA.

Após a sintonização da frequência alvo para uma recepção, o sinal é transladado para a frequência intermediária e enviado ao conversor CAD, que em seguida o enviará para o conversor digital para baixo, que o transladará para a banda base para posterior processamento pelo GNU Radio.

As placas-filhas transmissoras utilizadas são as de modelo BasicTx, com faixa de frequência entre 1 e 250MHz e LFTX operando entre DC e 30MHz.

As placas-filhas receptoras utilizadas são as de modelo BasicRx, operando entre 1 e 250MHz e LFRX operando entre DC e 50MHz.

Porém, como é ampla a faixa coberta por cada uma delas, muitas vezes existe uma faixa de frequência comum a mais de uma placa-filha, permitindo que aplicações de transmissão e/ou recepção sejam realizáveis por mais de uma placa-filha.

Portanto, isso justifica a realização de um estudo comparativo sobre o desempenho da amplitude da resposta em frequência numa mesma faixa de frequências, para diferentes configurações de um sistema transceptor. O resultado desse estudo permitirá indicar as correções, quando necessárias, para cada conjunto de frequência de um sistema que venha a utilizar mais de uma placa-filha para a recepção e/ou transmissão de sinais que estejam na faixa de frequência comum às placas em questão, além de identificar a melhor e a pior configuração possível.

II. O PROTÓTIPO PARA AQUISIÇÃO DA AMPLITUDE DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM SISTEMA TRANSECTOR USANDO AS PLACAS-FILHAS BASICTX, BASICRX, LFTX E LFRX

Para a aquisição da amplitude da resposta em frequência do sistema transceptor, foi desenvolvido um protótipo baseado no módulo USRP modelo USRP1 e num sistema de comunicação desenvolvido através do GRC para o GNU Radio v.3.3 .

O sistema consiste basicamente em duas partes: uma transmissora e uma receptora.

Afim de medir a variação da amplitude dos sinais recebidos, um sinal em varredura é transmitido por toda a faixa de frequência desejada, com amplitude de pico e frequência constantes e conhecidos. Esse sinal de amplitude de pico constante, modula em amplitude o sinal da portadora,

cuja frequência de transmissão é variada em tempo real, dentro das limitações da placa-filha transmissora.

A variação da frequência da portadora, para gerar um sinal que varie por toda a faixa de frequência a ser testada, é necessária devido a um conjunto de fatores limitantes tanto do software GNU Radio quanto do módulo USRP. Algumas delas são: as limitações das faixas de frequências das placas-filhas transmissora e receptora, a largura de banda da interface USB (8MHz) e a medição de nível de sinais, que variam em amplitude e em frequência ao mesmo tempo.

Devido a isso, a transmissão de um sinal senoidal com amplitude e frequência constantes mostrou-se mais prática e simples diante do sistema receptor.

A portadora modulada em amplitude pelo sinal conhecido é enviada pela placa transmissora para a placa receptora, onde o sinal é recebido e convertido para banda base. O resultado dessa operação é a recuperação do sinal conhecido que foi transmitido, porém com sua amplitude alterada pelo sistema transceptor completo.

A principal vantagem em utilizar o sistema RDS para realizar a tarefa de aquisição de “sua própria” resposta de amplitude em frequência reside no fato de que, o receptor ao sintonizar a portadora transmitida, recupera a mensagem que é o sinal senoidal de frequência constante. Esse sinal recuperado é responsável por variar em amplitude, em diferentes frequências, e sua medição resulta na resposta em frequência do sistema transceptor.

Portanto, toda a medição da amplitude da resposta do sistema transceptor é feita no sinal em banda base recebido, tomando como referência o sinal senoidal transmitido.

Após a sintonização da placa receptora na mesma frequência de transmissão, o sinal recebido é processado através de um sistema composto por um filtro passa baixa, um conversor de sinal complexo para real e um par detector de pico-*S&H*.

Após os blocos *S&H* e o conversor de complexo para real, encontram-se os medidores de nível de sinal, responsáveis por fazer a leitura do nível da amplitude e permitir seu armazenamento em arquivo formato txt ou raw para posterior processamento por outros softwares, inclusive a plotagem dos mesmos.

Este medidor ainda não estava implementado na versão do GRC utilizada, somente no GNU Radio. Porém, sua utilização deu-se através da inserção de um código no script Python para medir e escrever os dados em arquivos txt.

III. RESULTADOS

A Figura 3 mostra o sistema transmissor no GRC enquanto que a Figura 4 mostra o sistema receptor, destacando os pontos de medição inseridos no script Python do respectivo sistema.

Cada placa transmissora possui duas saídas de sinal de rádio frequência (RF). Desse modo, é possível obter a resposta em amplitude de duas placas receptoras ao mesmo tempo.

Para a conexão das placas foram utilizados os cabos coaxiais padrão, que acompanham o kit USRP e são certificados pela Ettus Research [2].

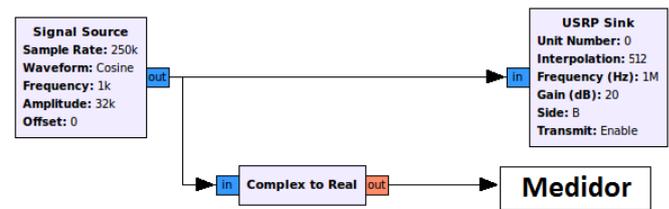


Fig. 3 – Diagrama de blocos GRC do transmissor

Para as implementações dos testes foram montadas duas configurações diferentes. Em ambas configurações as placas receptoras BasicRx e LFRX sempre recebiam os mesmos sinais transmitidos por uma única placa-filha transmissora. Primeiramente utilizou-se como transmissora, a placa filha BasicTx, e depois, a LFTX.

Assim, utilizou-se simultaneamente as duas saídas (TXA e TXB) de cada placa transmissora, na qual a TXA foi conectada a entrada RXA da placa BasicRx e a TXB foi conectada a entrada RXA da placa LFRX. Em todos os testes foi transmitido um sinal cosseno, com frequência fixa em 1kHz e amplitude no valor de 32k. O transmissor interpolava o sinal, para casar a taxa de amostragem do sinal original (250kaps) com a taxa de amostragem do CDA (128Maps), e amplificava o sinal transmitido em 20dB, para atingir a potência máxima de transmissão (0,5mW). Em seguida, sua frequência de transmissão foi variada entre 1 e 30 MHz, com uma resolução de 500 pontos no total.

O receptor sintonizava a mesma frequência de transmissão à medida em que essa variava, e também amplificava o sinal recebido em 20dB para permitir a melhor utilização da resolução do CAD, além de fazer a decimação para casar a taxa de amostragem do CAD (64Maps) com a taxa real do sinal original.

Cada receptor possui em sua entrada um filtro passa-baixa para eliminação de ruídos de altas frequências e imagens resultantes da modulação e demodulação. A frequência de corte utilizada foi de 1kHz, com janela do tipo ‘Hamming’, com uma largura de transição de 2k, o que proporciona um corte muito agudo no filtro.

Tanto no transmissor quanto no receptor, para as medidas de resposta em frequência das amplitudes, utilizou-se a parte real do sinal. No receptor, esse sinal passava por um detector de pico configurado para detectar o pico positivo do sinal, inclusive durante o período negativo do ciclo. Em seguida esse detector controlava o *S&H* de modo que sua saída era um sinal constante no pico máximo positivo do sinal real recebido.

Como o sinal recebido a ser medido possui frequência constante igual a 1kHz, optou-se por utilizar apenas um par de detector de pico-*S&H*, devido ao fato do alto valor da taxa de amostragem (250kaps) que por sua vez está de acordo com o fator máximo de interpolação permitido (512) para elevar essa taxa a 128Maps.

Esse esquema de detecção permite que a variação instantânea do sinal seja medida e armazenada para processamento em qualquer outro sistema, seja ele em tempo real ou não, local ou não, visto que o arquivo pode ser atualizado em tempo real num sistema de ‘cloud computing’, através da Internet, o que possibilita sua leitura e atualização remota instantaneamente.

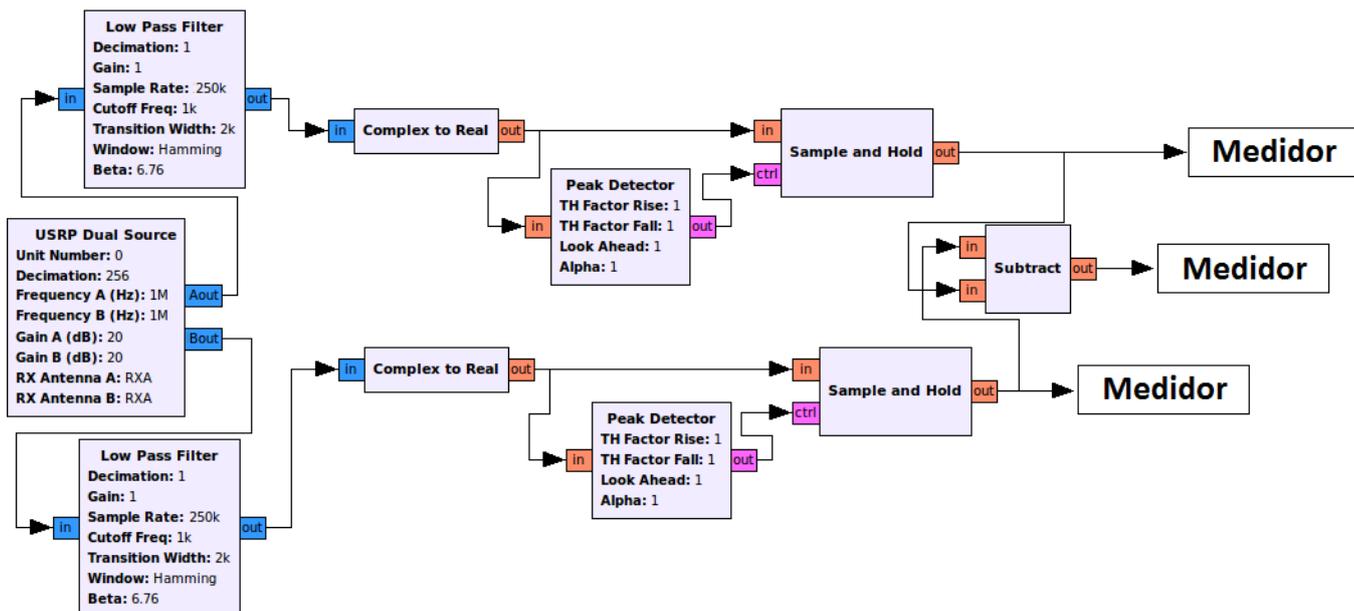


Fig. 4 – Diagrama de blocos GRC do receptor

Para a comparação da resposta entre os dois receptores, os dois sinais recebidos foram subtraídos instantaneamente as medições armazenadas em outro arquivo.

A Figura 5 mostra as amplitudes das respostas em frequência das placas BasicRx e LFRX e a diferença entre elas, quando utilizou-se a placa BasicTx para transmissão.

A Figura 6 mostra as amplitudes das respostas em frequência das placas BasicRx e LFRX e a diferença entre elas, quando utilizou-se a placa LFTX para a transmissão.

A Figura 7 mostra somente as amplitudes das respostas em frequência, mostradas nas Figuras 5 e 6, para permitir uma comparação direta entre todas as quatro respostas das configurações testadas.

Nas Figuras 5, 6 e 7 observam-se alguns pontos de medições distantes da localização de alta densidade da grande maioria. Isso se deve à ocorrência aleatória da variação instantânea das amplitudes do sinal gerado, que é suscetível às atividades de processamento do computador no qual está sendo executado o software GNU Radio. Como o ambiente não é 100% dedicado ao GNU Radio, algumas vezes as amplitudes apresentam um valor diferente do esperado.

De acordo com os resultados mostrados pela Figura 5, nota-se que o sistema transceptor BasicTx-BasicRx apresentou o melhor desempenho em relação a alteração de amplitude no faixa de 1 a 30MHz, sendo que o sistema BasicTx-LFRX apresentou o pior desempenho, pois a amplitude sofreu alta atenuação a partir de 10MHz.

Os resultados mostrados pela Figura 6 mostram que ambas configurações testadas apresentaram desempenho muito próximo, sendo que o sistema LFTX-LFRX apresentou maior atenuação de amplitude do que o LFTX-BasicRx.

Portanto, para a faixa de frequências entre 1 a 30MHz, o melhor sistema a ser utilizado em relação a atenuação em amplitude deve ser o LFTX-BasicRx, como mostra a Figura 7.

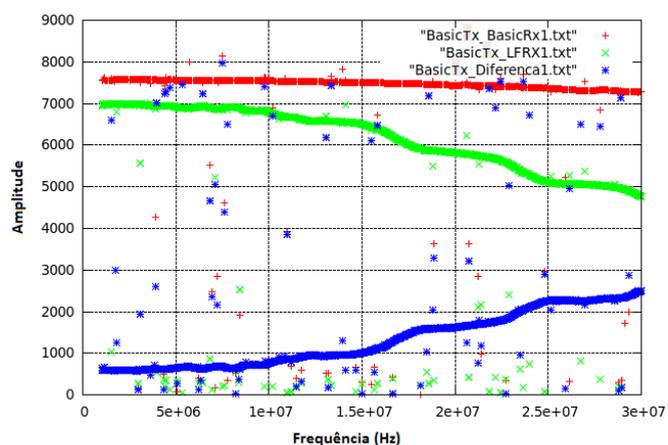


Figura 5 – Respostas em frequência das amplitudes das placas BasicRx e LFRX e sua diferença com transmissão da placa BasicTx

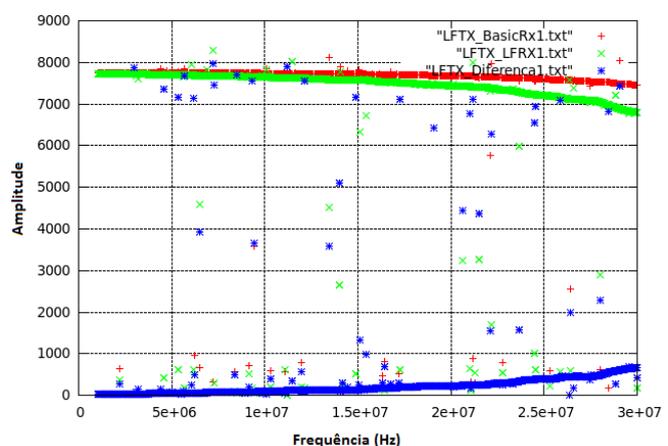


Figura 6 – Resposta em frequência das amplitudes das placas BasicRx e LFRX e sua diferença com transmissão pela placa LFTX

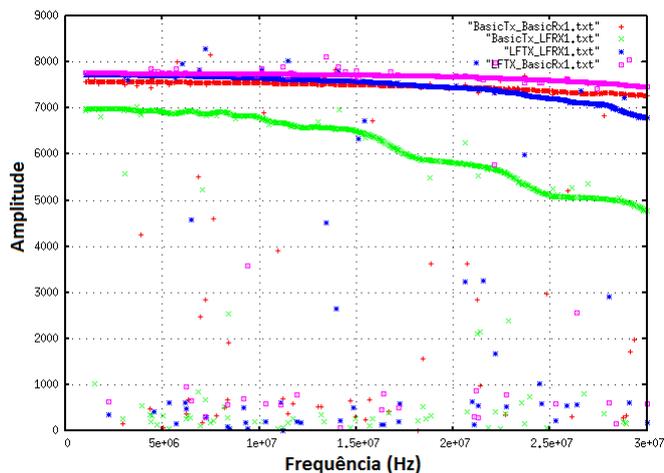


Figura 7 – Respostas em frequência das amplitudes das quatro configurações

IV. CONCLUSÃO

O objetivo deste documento foi atingido e provou ser possível estabelecer um protótipo de aquisição de resposta em frequência dos sistemas transceptores compostos pelas placas do módulo USRP utilizando o software GNU Radio.

A resposta em amplitude indica a melhor configuração para um sistema transceptor, indicando também as correções necessárias para cada frequência desejada, quando outras configurações para compor um sistema transceptor são requeridas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mitola, J. "The software radio architecture", IEEE Communications Magazine, Vol. 33 págs 26-38. Maio 2005, Mitre Corp., Belford, MA.
- [2] Ettus Research, "Support: Downloads" disponível em <http://ettus.com/support/downloads>. Acessado em 03 de Março de 2012.
- [3] Hamza, F. A. "The USRP Under 1.5X Magnifying Lens!" disponível em <http://gnuradio.org/redmine/attachments/download/129>. Acessado em 02 de Março de 2012.
- [4] Blossom, E. "Exploring GNU Radio" disponível em <http://www.gnu.org/software/gnuradio/doc/exploring-gnuradio.html>. Acessado em 03 de Março de 2012.
- [5] Mitola, J. "The Software Radio", IEEE National Telesystems Conference, 1992 - Digital Object Identifier 10.1109/NTC.1992.267870