



## **GNU: Implementação de Metodologias Ativas no Ensino de Engenharia de Telecomunicações com Uso de SDR.**

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5380

**Autores:** VINÍCIUS JOSÉ WANDERLEY VIEIRA, ISABELY SAMARA SIMÃO DE MATOS, LUCAS MEDEIROS CARNEIRO COSTA, ADELSON ATAIDE DOS SANTOS NETO, SUZETE ÉLIDA NÓBREGA CORREIA

**Resumo:** A metodologia tradicional de ensino nas instituições de ensino superior (IES) é fortemente dependente de referências teóricas escritas no quadro e transcritas pelos alunos, promovendo um ambiente de aprendizado passivo. O mercado de trabalho atual em engenharia exige graduados com habilidades práticas e capacidades de trabalho em equipe, tornando necessária a adoção de metodologias de aprendizado ativo na educação em engenharia. Metodologias de aprendizado ativo, que envolvem a resolução de problemas e atividades interdisciplinares, são eficazes em melhorar a qualidade do ensino e reduzir as taxas de evasão. No entanto, a implementação dessas metodologias na educação em engenharia de telecomunicações enfrenta desafios devido ao alto custo e à obsolescência dos equipamentos de laboratório. A tecnologia de Rádio Definido por Software (SDR) oferece uma alternativa econômica e flexível para práticas de laboratório, tornando viável o ambiente de aprendizagem a distância. Este estudo explora a implementação de um receptor FM usando o hardware USRP N210 e o software GNU Radio, destacando os benefícios educacionais e as aplicações práticas na engenharia de telecomunicações.

**Palavras-chave:** GNU Radio, Rádio Definido por Software (SDR), USRP N210, Práticas de Laboratório.

# GNU: Implementação de Metodologias Ativas no Ensino de Engenharia de Telecomunicações com Uso de SDR

---

## 1 INTRODUÇÃO

No dia a dia das Instituições de Ensino Superior (IES), a metodologia de ensino tradicional continua sendo uma das mais utilizadas pelos docentes e, tem como técnica mais empregada o uso de referenciais teóricos na lousa, que são transcritos para o caderno dos discentes, que então passam a adotar uma postura passiva em sala de aula. O mercado atual de engenharia busca, cada vez mais, egressos adaptados com habilidades práticas e noção de trabalho em equipe. Portanto, um dos recursos a serem utilizados é o uso de metodologias ativas que buscam aproximar os estudantes dos novos requisitos adotados pelas empresas (Ponciano; Gomes; Morais, 2016).

As metodologias ativas de aprendizagem proporcionam um aprendizado significativo, baseando-se em resolução de problemas concretos, de atividades que requerem conhecimentos interdisciplinares, utilizando ferramentas que podem ser funcionais para elevar a melhoria de ensino e combater a evasão nos cursos de engenharia (Gomes; Batista; Fusinato, 2021).

Em se tratando de metodologias ativas no ensino de engenharia de telecomunicações, ainda existem diversos desafios, visto o déficit de equipamentos nos laboratórios das IES, devido ao alto custo financeiro dos equipamentos e kits comerciais que rapidamente se tornam obsoletos, pois apresentam tecnologia muito específica dificultando a diversificação da abordagem prática com os discentes. Logo, se faz válido o uso de ferramentas flexíveis e capazes de serem reutilizadas ou atualizadas (Diniz, 2019 *apud* Silva, 2022).

Consideram-se os Rádios Definidos por Software (SDR - *Software Defined Radio*) uma ferramenta importante para que as práticas laboratoriais sejam realizadas, podendo se aliar bem às práticas dos cursos da área de telecomunicações. O SDR possui a capacidade de se reconfigurar para diversos tipos de experimento com o software apropriado, um SDR pode ser configurado para funcionar como diferentes tipos de rádio, modulador, demodulador ou até mesmo como um simulador de canal. Os SDR's podem ser utilizados para trabalhar facilmente as ementas do curso de telecomunicações, abordando conteúdos como análise de espectro, modulação/demodulação de sinais, etc (Almeida, 2020).

Diniz (2013) apresentou uma proposta que consiste em equipar os laboratórios através do conceito de tecnologia de Rádio Definido por *Software* (SDR), buscando realizar diversas aplicações que auxiliem no ensino-aprendizagem dos cursos de graduação em engenharia. Segundo o autor, o SDR permitiu abranger aplicações em processamentos de sinais de diversas naturezas, além de se mostrar muito didático, possibilitando o detalhamento de todo processo.

Silva (2022) se baseou na metodologia de ensino-aprendizagem ativa para melhorar a compreensão dos fenômenos estudados na engenharia de telecomunicações e construiu um protótipo comercial para ser utilizado como recurso didático. O autor utilizou-se da tecnologia SDR, uma USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) N210 e as plataformas abertas *OpenBTS* e *Asterisk*. O protótipo se mostrou com grande potencial para fomento de projetos integradores e ensino ativo dos cursos de engenharia de telecomunicações, visto que possibilita a interdisciplinaridade ao discente.

Almaleh (2019) buscou avaliar a eficácia do uso do Rádio Definido por *Software* LimeSDR (plataforma de rádio definido por software), desenvolvida pela Lime Microsystems, junto a plataforma de programação GNU Radio. O autor sondou o seu uso para o âmbito de ensino e elaborou o estudo de casos práticos, primeiramente em ambientes simulados e depois em ambientes reais, comparando os resultados pela plataforma GNU Radio com medições de um analisador de espectro. Ainda conforme o autor, o trabalho propiciou um grande aprendizado tanto na área das telecomunicações, quanto no uso apropriado das plataformas utilizadas e verificou-se que a LimeSDR é uma ferramenta relativamente fácil de se trabalhar e apresenta bons resultados.

Diante dos estudos apresentados, percebe-se que o SDR pode ser usado como ferramenta para ampliar a compreensão dos discentes de maneira prática em relação aos fenômenos da engenharia de telecomunicações. Sendo assim, este artigo objetiva apresentar a implementação de um receptor FM (Frequência Modulada) utilizando a ferramenta de desenvolvimento de código aberto GNU Radio e o hardware genérico USRP N210 para a recepção, processamento e análise de sinais de rádio modulados em frequência. A proposta pode ser usada como prática experimental nas disciplinas de Princípios de Telecomunicações e Sinais e Sistemas, e em cursos de graduação em Engenharia Elétrica e Telecomunicações.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Modulação em frequência

Na modulação em frequência (FM), tal como na modulação em amplitude, existe um sinal portador que é normalmente assumido como uma onda senoide de alta frequência e existe um sinal mensagem de frequência mais baixa. A FM consiste em modular a frequência da portadora de acordo com as variações do sinal a ser transmitido (Moore, 1995).

A expressão do sinal modulado em FM é dada por:

$$p(t) = A \cos(\theta(t)) \quad (1)$$

em que  $\omega_i(t) = \omega_c t + K_F f(t)$ , sendo  $\omega_c$  a frequência constante da portadora,  $K_F$  uma constante e  $f(t)$  o sinal mensagem (Modulante).

O ângulo  $\theta(t)$  é definido como sendo:

$$\theta(t) = \int_0^t [\omega_c t + K_F f(t)] dt \quad (2)$$

Logo:

$$\theta(t) = \omega_c t + K_F \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

ou seja, a fase da portadora varia linearmente com a integral do sinal de informação de  $f(t)$ . Se  $f(t) > 0$  a frequência da portadora aumenta, caso contrário  $f(t) < 0$  a frequência da portadora diminui, ocasionando um desvio máximo de frequência  $\Delta\omega$ .

O índice de modulação  $\beta$  representa o máximo deslocamento de fase do sinal em relação à portadora, sendo representado por:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \quad (4)$$

em que  $\omega_m$  é a frequência máxima da informação. Existem duas abordagens, dependendo do valor de  $\beta$ : se  $\beta < 0,2$ , tem-se o caso designado por FM de banda estreita (NBFM - *NarrowBand Frequency Modulation*), caso contrário tem-se o FM de faixa larga (WBFM - *WideBand Frequency Modulation*). e podemos proceder utilizando uma expansão que é uma série de Taylor em  $\beta$ .

O FM comercial foi definido por norma internacional (FCC - *Federal Communication Commission*), com faixas de frequências alocadas no Brasil de 88MHz a 108 MHz, Bandas de frequências do sinal de áudio: 50 Hz a 15 kHz,  $\beta = 5$  e largura de banda 200 kHz.

O GNU Radio disponibiliza de uma variedade completa de blocos de processamento de sinais que podem ser facilmente unidos para criar um sistema de comunicação. Para realizar a modulação em FM, foram utilizados blocos que possibilitam a manipulação da frequência da portadora.

## 2.2 GNU Radio

O GNU Radio é um kit de ferramentas de desenvolvimento de software livre e de código aberto que fornece blocos de processamento de sinal para implementar rádios definidos por software. Ele pode ser usado com hardware de RF (*Radio Frequency*) externo de baixo custo e prontamente disponível para utilizar rádios definidos por software ou ser implementado em ambiente de simulação. É amplamente utilizado em pesquisa, indústria, escolas, governo e ambientes amadores para apoiar tanto a pesquisa de comunicações sem fio quanto os sistemas de rádio do mundo real ("About GNU Radio - GNU Radio", 2024).

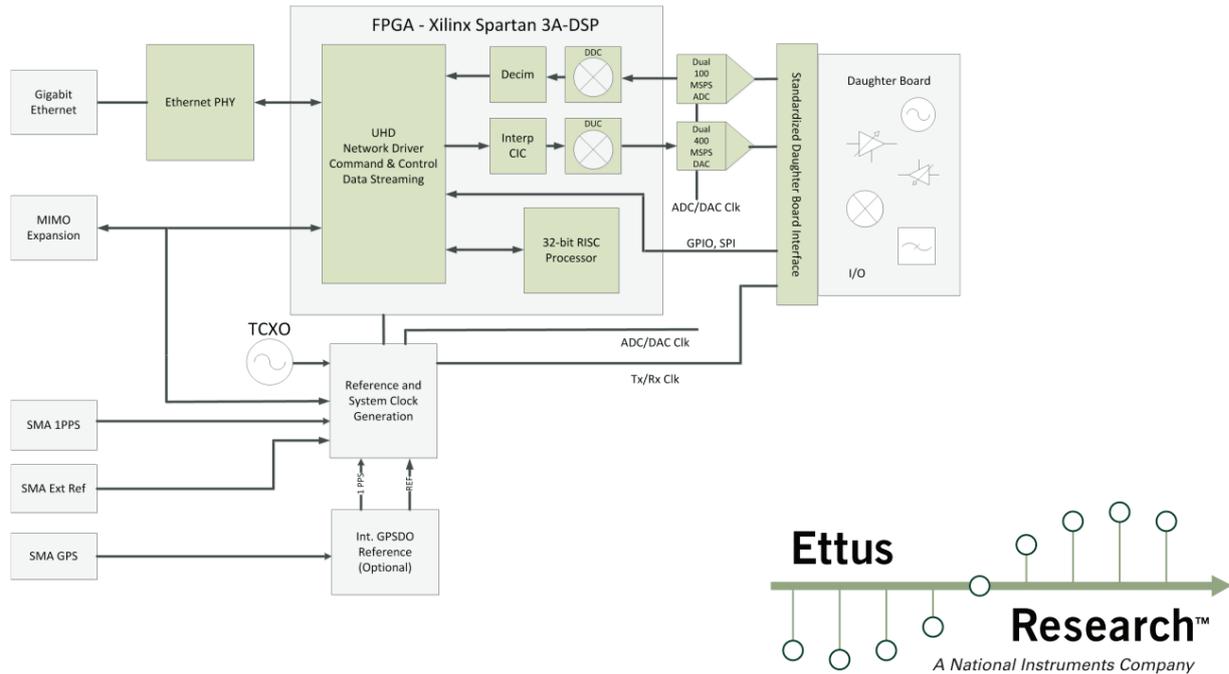
Para emular os componentes de telecomunicações, foi utilizado o GNU Radio, pois ele permite a prototipagem e o desenvolvimento de práticas relacionadas ao tema. Isso facilita a avaliação de funcionalidades, desempenho e interoperabilidade, já que é um software de código aberto. Essa utilização é especialmente útil para pesquisadores que desejam testar novas funcionalidades ou configurar sistemas de telecomunicações em ambientes de laboratório.

## 2.3 USRP

O USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) modelo N210, desenvolvido pela Ettus Research, é um *hardware* SDR altamente configurável que funciona em conjunto com o GNU Radio. Ele permite a transmissão e recepção de sinais de rádio reais, tornando-se um componente crucial para testes e implementações práticas de sistemas de comunicação. A filosofia básica por trás do USRP é realizar o processamento das formas de onda na CPU de um computador, enquanto operações de alta velocidade, como *upconversion*, *downconversion*, decimação e interpolação, são realizadas no FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) do USRP.

O USRP possui uma placa principal e diversas placas filhas intercambiáveis, como ilustrado na Figura 1. A placa principal contém quatro conversores analógico/digital (ADCs) de alta velocidade, com uma taxa de amostragem de até 100 milhões de amostras por segundo e 14 bits por amostra. Também possui dois conversores digital/analógico (DACs) com 400 milhões de amostras por segundo e 16 bits por amostra (BRAND, 2024). Esses canais de entrada e saída são conectados a um FPGA Altera Cyclone IV, que se conecta a uma interface Gigabit Ethernet, proporcionando uma alta taxa de transferência de dados entre a USRP e um computador.

Figura 1 – USRP N210

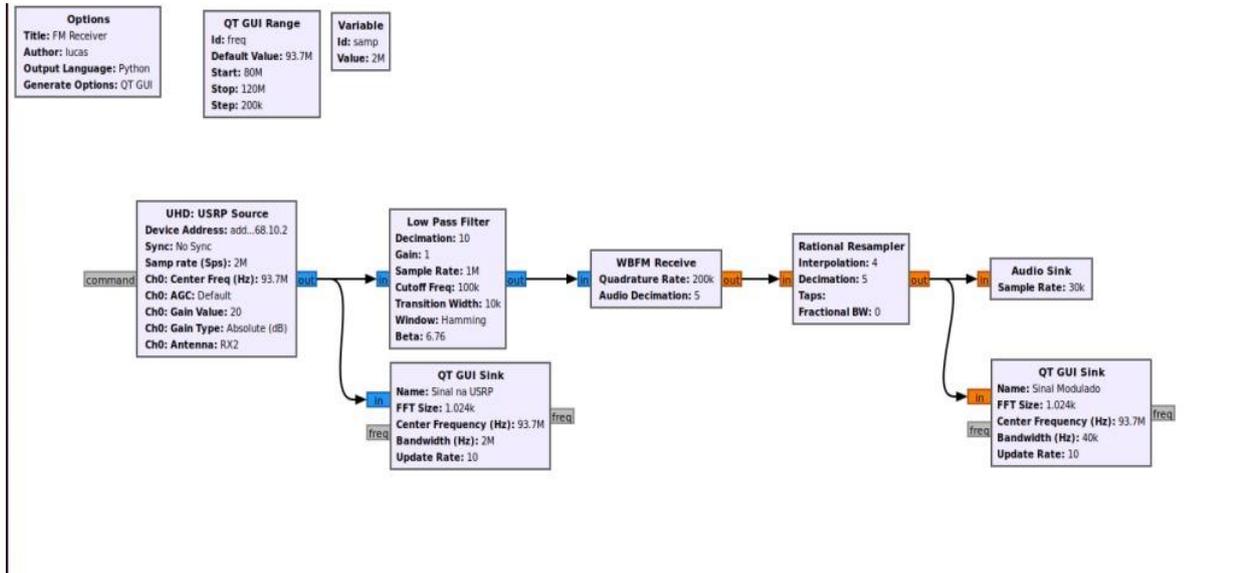


Fonte: Ettus USRP N210: High-bandwidth, High-dynamic Range SDR/Cognitive Radio (2024).

### 3 METODOLOGIA

Para aproveitar o potencial do uso conjunto do GNU Radio e USRP no ensino de telecomunicações foi preparado um experimento utilizando modulação analógica. O diagrama apresentado na Figura 2 mostra um fluxo de processamento de sinal usando o software GNU Radio, com foco na recepção e demodulação de um sinal de rádio FM. Cada bloco no diagrama tem uma função específica e importante no tratamento do sinal, desde a captura até a reprodução do áudio demodulado. Os valores selecionados para cada parâmetro dos blocos foram escolhidos para melhorar a qualidade de saída de áudio.

Figura 2 – Recepção e demodulação de sinal de rádio FM.



Fonte: Elaboração própria (2024).

O receptor consiste em 8 blocos de processamento: *USRP Source*, *Low pass filter*, *WBFM Receiver*, *Rational Resempler*, *Audio Sink*, dois *QT GUI Sink* e um *QT GUI Range*.

O bloco *USRP Source* é essencial para capturar o sinal de rádio FM com precisão. Atua como receptor do sinal modulado e é responsável pela comunicação com a placa N210. Está configurado para operar sem sincronização, com um ganho de 20 dB e receber sinais na frequência de 80 Mhz até 120 MHz, escolhidas por meio do bloco *QT GUI Range*. Foi considerada uma taxa de amostragem de 2 milhões de amostras por segundo.

Após a captura, o sinal passa por um filtro passa-baixas (*Low pass filter*) que limita a largura de banda do sinal, com uma frequência de corte de 100 kHz, tendo em vista que sinais de áudio possuem um espectro de 20Hz à 20kHz. Por meio do bloco é realizada uma decimação por um fator 10, que consiste em um processo de diminuição da carga de processamento, pela divisão do número de amostras por esse fator. Sendo assim, a taxa na saída do bloco corresponde a taxa de amostragem 1MHz dividido por 10.

O bloco *WBFM Receive* é usado para extrair o conteúdo de áudio do sinal modulado, fazendo a demodulação do sinal FM de banda larga. Esse bloco converte o sinal modulado para uma frequência de quadratura de 200 kHz e ajusta a taxa de amostragem dos dados recebidos, através da decimação de áudio por um fator 5.

O bloco *Rational Resampler* é utilizado para garantir a integridade do sinal. Por meio do bloco é realizada uma interpolação de fator 4. Na sequência é feita uma decimação por um fator 5 para ajustar a taxa de amostragem do sinal de áudio conforme necessário para reprodução do som pelo bloco *Audio Sink*.

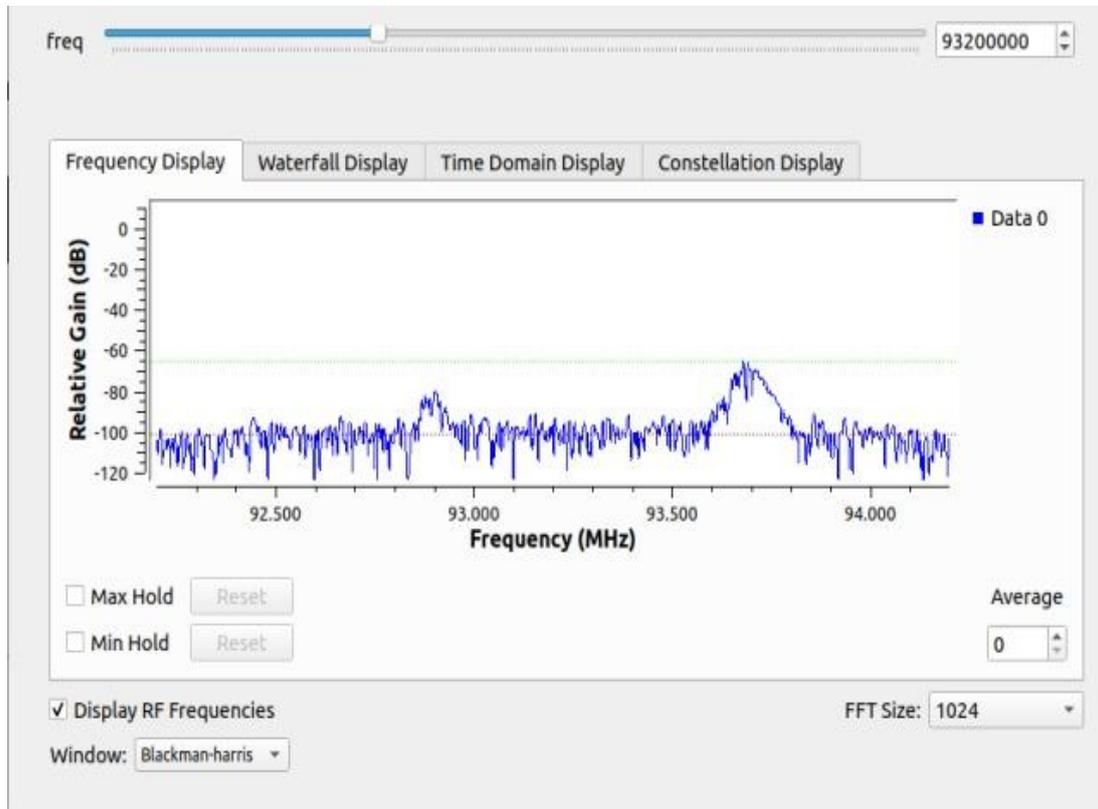
O diagrama também inclui dois blocos de *QT GUI Sink*, que funcionam como analisadores de espectro em tempo real para a visualização e monitoramento do sinal durante o processamento, além de ter integridade com bloco *QT GUI Range* possibilitando mudar as frequências em tempo real. O bloco na saída do *USRP Source* apresenta o sinal capturado pelo USRP, enquanto o bloco na saída do *Rational Resempler* exibe o sinal demodulado e ajustado pela taxa de amostragem.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Objetivando analisar a recepção de um sinal modulado frequência, foi implementada uma prática experimental de um receptor FM usando USRP em conjunto com o *GNU Radio*. Os valores das taxas de amostragem e decimação dos blocos empregados foram ajustados empiricamente, de modo a tornar o áudio da estação de rádio capturada audível. Esse processo consistiu em uma etapa desafiadora e prolongado.

Na Figura 3 é mostrado o espectro de frequências dos sinais capturados pela USRP por meio do *GNU Radio*. Conforme ilustrado, observam-se elevações no eixo vertical, medido em decibéis, que indicam a potência dos sinais sintonizados. Os picos mais altos representam sinais com maior potência. Logo, é possível visualizar duas transmissões de rádio, através dos picos em 92,9 MHz e 93,7 MHz, sendo a 93,7MHz a mais relevante.

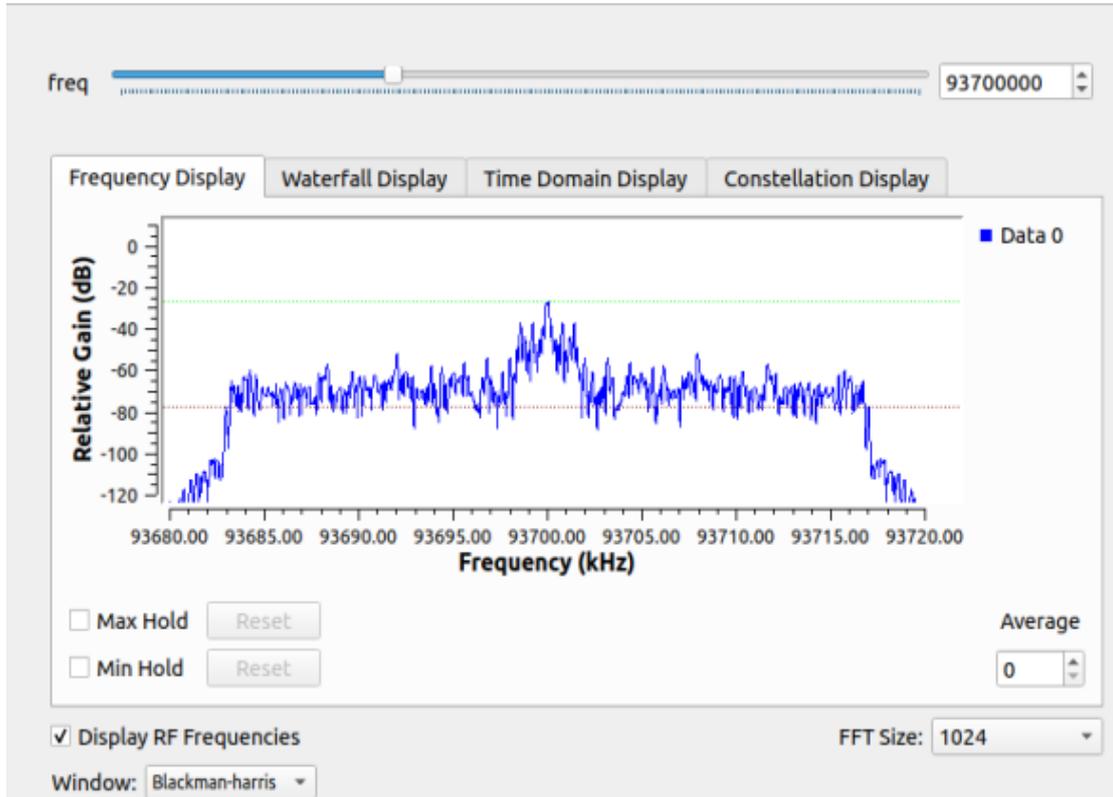
Figura 3 – Espectro em frequência de sinais capturados pela USRP.



Fonte: Elaboração própria (2024).

Ao utilizar a USRP, é possível sintonizar especificamente uma transmissão de rádio. Na Figura 4 é ilustrado o espectro de uma transmissão FM em 93,7 MHz. Observa-se uma largura de banda de transmissão de 200 KHz e frequência central em 93,7 MHz. O sinal de áudio demodulado pode ser ouvido através de alto-falantes.

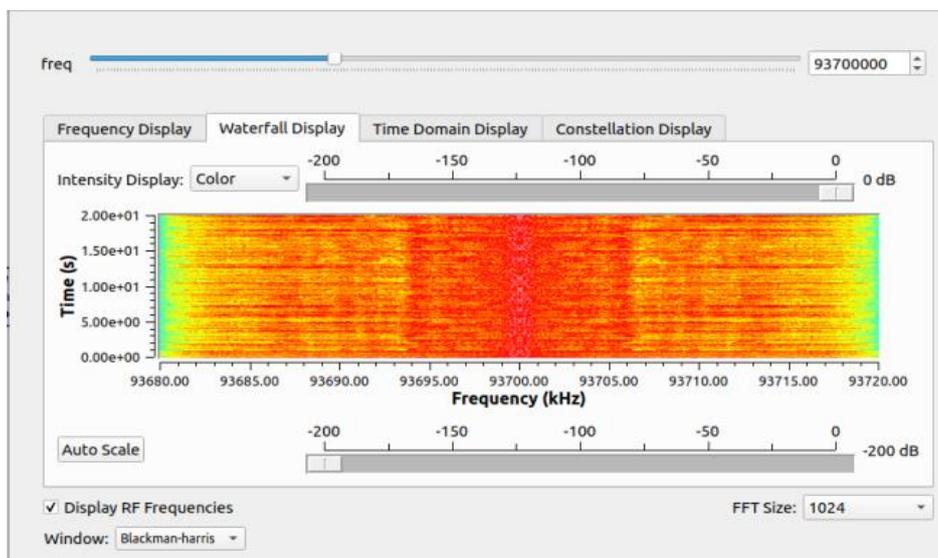
Figura 4 - Sinal Modulado em Frequência 93.7MHZ



Fonte: Elaboração própria (2024).

Na Figura 5 é exibido espectrograma de um sinal modulado em FM. Através dessa ferramenta é possível monitorar e analisar a presença, intensidade e comportamento tempo-frequência do sinal. As cores indicam a intensidade do sinal na frequência, vermelho e amarelo representa uma maior intensidade, enquanto as cores verde e azul indicam uma intensidade menor. Observa-se a largura de banda da estação de rádio com portadora em 93,7 MHz.

Figura 5 - Exibição do espectrograma de frequência do sinal modulado em 93.7MHZ



Fonte: Elaboração própria (2024).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada a implementação de um receptor FM utilizando o hardware USRP N210 para captura um sinal modulado em FM, em conjunto com a ferramenta de desenvolvimento de código aberto GNU Radio.

Através da configuração desenvolvida e dos experimentos realizados visualiza-se uma contribuição para o ensino-aprendizagem da modulação em frequência, uma vez que pode-se observar no espectro de frequências mais de uma estação de rádio, bem como sintonizar uma delas e mostrar a largura de banda de um sinal modulado. Além disso é possível ouvir de forma nítida a estação de rádio sintonizada.

Os experimentos sugeridos podem elevar o interesse e entendimento dos alunos em estudos relacionados às propriedades da transformada de Fourier e transmissão de sinais modulados, tornando-se uma abordagem mais prática para as disciplinas de sinais e sistemas, processamento de sinais e princípios de comunicações.

Como continuidade do trabalho planeja-se aplicar as práticas propostas em sala de aula com o objetivo de aprimorar a compreensão e a retenção dos conteúdos pelos alunos.

### AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Ensino Tutorial (PET) e ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB) pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

ALMALEH, R. H. **Avaliação do rádio definido por software LimeSDR utilizando a plataforma GNURadio**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/198345>. Acesso em: 06 jun. 24.

ALMEIDA, T. P. **A utilização de rádios definidos por software, técnicas de aprendizado de máquina e ferramentas de acesso remoto no aprimoramento dos laboratórios de telecomunicações**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília, Brasília. 2021

**About GNU Radio - GNU Radio**. Disponível em: <<https://www.gnuradio.org/about/>> Acesso em: 06 jun. 24.

BRAND, E. R., a National Instruments. **USRP N210 Software Defined Radio (SDR)**. Disponível em: <<https://www.ettus.com/all-products/un210-kit/>>. Acesso em: 06 jun. 24.

DINIZ, P. C. A. **Utilização de rádio definido por software para análise de sinais aplicados ao ensino em engenharia**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

DINIZ, P. C. A. **Utilização de rádio definido por software e metodologias ativas no ensino em engenharia elétrica**. 2019. Doutorado em Engenharia Elétrica Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Elétrica Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia, 2022.

Ettus USRP N210: High-bandwidth, High-dynamic Range SDR/Cognitive Radio. Disponível em: <<https://digilent.com/shop/ettus-usrp-n210-high-bandwidth-high-dynamic-range-sdr-cognitive-radio/>>. Acesso em: 06 jun. 24.

FRENZEL, L. E. **Handbook of serial communications interfaces: a comprehensive compendium of serial digital input/output (I/O) standards**. Oxford, UK: Elsevier : Newnes, 2016.

GOMES, E. C.; BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A. **O Uso Das Metodologias Ativas Nos Cursos De Engenharia No Brasil A Partir De Teses E Dissertações**. Revista Valore, v. 6, p. 471-483, 2021.

MOORE, B. C. J. **Hearing (Handbook of Perception and Cognition 2nd Edition)**. Academic press, 1995.

PONCIANO, T. M.; GOMES, F. C. de V.; MORAIS, I. C. **Metodologia ativa na engenharia**: verificação da abp em uma disciplina de engenharia de produção e um modelo passo a passo. 2017.

SILVA, H. O. L. **Protótipos de sistemas comerciais em rádio definido por software para fins didáticos no curso de Engenharia de Telecomunicações**. 2022. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) - Departamento de Engenharia de Comunicações, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

## **GNU: IMPLEMENTATION OF ACTIVE METHODOLOGIES IN TEACHING TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING USING SDR**

**Abstract:** *The traditional teaching methodology in higher education institutions (HEIs) is heavily reliant on theoretical references written on the board and transcribed by students, promoting a passive learning environment. The current engineering job market demands graduates with practical skills and teamwork abilities, necessitating the adoption of active learning methodologies in engineering education. Active learning methodologies, which involve problem-solving and interdisciplinary activities, are effective in improving teaching quality and reducing dropout rates. However, implementing these methodologies in telecommunications engineering education faces challenges due to the high cost and obsolescence of laboratory equipment. Software Defined Radio (SDR) technology offers a cost-effective and flexible alternative for laboratory practices, making it feasible for remote learning environments. This study explores the implementation of an FM receiver using USRP N210 hardware and GNU Radio software, highlighting the educational benefits and practical applications in telecommunications engineering.*

**Keywords:** *GNU Radio, Software Defined Radio (SDR), USRP N210, Laboratory Practices.*

