

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**UTILIZAÇÃO DE RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE E
METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

PRISCILA CRISFIR ALMEIDA DINIZ

Uberlândia
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**UTILIZAÇÃO DE RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE E
METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

Texto de tese apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Processamento da Informação

Banca examinadora:

Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga,	Dr. – Orientador (UFU)
Gilberto Arantes Carrijo,	Dr. (UFU)
Alexandre Coutinho Mateus,	Dr. (UFU)
Osmar Ogashawara,	Dr. (UFSCar)
Daniel Moraes Santos,	Dr. (UFVJM)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D585 Diniz, Priscila Crisfir Almeida, 1985-
2019 Utilização de rádio definido por software e metodologias ativas
no ensino em engenharia elétrica [recurso eletrônico] / Priscila
Crisfir Almeida Diniz. - 2019.

Orientador: Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-
graduação em Engenharia Elétrica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2096>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. I. Veiga, Antônio Cláudio Paschoarelli,
1963-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ATA DE DEFESA

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Doutorado Acadêmico, 247, COPEL				
Data:	09/07/2019	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:50
Matrícula do Discente:	11313EEL014				
Nome do Discente:	Priscila Crisfir Almeida Diniz				
Título do Trabalho:	Utilização de rádio definido por software e metodologias ativas no ensino em engenharia elétrica				
Área de concentração:	Processamento da informação				
Linha de pesquisa:	Processamento digital de sinais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS. Data de Início: 01/01/2008. Natureza do Projeto: PESQUISA. Situação do Projeto: EM ANDAMENTO. Descrição: Desenvolvimento, análise e projeto de sistemas nas áreas de processamento digital de sinais e telecomunicações. Utilização de algoritmos de processamento. Sistema de determinação de maturidade óssea assistida por computador. Financiadores: FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP - (Programa de Demanda Social).				

Reuniu-se no Anfiteatro 1E da Faculdade de Engenharia Elétrica, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Gilberto Arantes Carrijo - FEELT/UFU; Alexandre Coutinho - FEELT/UFU; Osmar Ogashawara - UFSCAR; Daniel Moraes Santos - UFVJM; Antonio Claudio Paschoarelli Veiga - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Antonio Claudio Paschoarelli Veiga, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Doutor**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por **Antonio Claudio Paschoarelli Veiga, Professor(a) do**



Magistério Superior, em 09/07/2019, às 17:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **OSMAR OGASHAWARA, Usuário Externo**, em 10/07/2019, às 05:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Coutinho Mateus, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/07/2019, às 09:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Moraes Santos, Usuário Externo**, em 12/07/2019, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto Arantes Carrijo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/07/2019, às 14:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1315496** e o código CRC **7DC659D8**.

UTILIZAÇÃO DE RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE E METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PRISCILA CRISFIR ALMEIDA DINIZ

Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga, Dr.

Orientador

José Rubens Macedo Junior, Dr.

Coordenador do curso de Pós-graduação

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser fonte de força e esperança em cada dia de trabalho. Obrigada por eu ter saúde, paciência e muita perseverança durante toda essa jornada.

Agradeço a Universidade Federal de Uberlândia por me oferecer uma formação de qualidade e gratuita, aos seus funcionários e colaboradores que sempre estiveram disponíveis para me auxiliar durante essa jornada. A CAPES – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior com a assistência financeira. A faculdade ESAMC e seus profissionais pelo suporte para a aplicação de parte deste trabalho.

Em especial ao Prof. Dr. Paschoarelli pela orientação, palavras de conforto em momentos de frustrações, por sempre acreditar no meu trabalho e a amizade dedicada ao longo desse período. Agradeço ao Prof. Gustavo Nozella por disponibilizar os equipamentos de SDR, por estar sempre disposto a auxiliar tecnicamente e como amigo em diversas etapas deste trabalho.

Aos meus pais Firmino e Izabel Cristina pelo apoio emocional e pelas palavras de incentivo, a todos os meus familiares por me incluírem em suas orações. A todos os amigos que me deram apoio em tempos sombrios e que em dias de glória também estavam juntos para comemorar.

Por fim agradeço a todos que fizeram parte dessa jornada e quero dizer que o real aprendizado está no caminho que se trilha, este trabalho é resultado de uma longa trajetória de sucessos e fracassos que me torna uma profissional e uma pessoa muito mais capacitada para os novos desafios.

RESUMO

Um dos grandes desafios do ensino em engenharia é aproximar a teoria das aplicações práticas. O Team Based Learning (TBL) é uma metodologia ativa centrada no aluno, que utiliza o conceito de sala de aula invertida, de tal maneira que os alunos estudam de forma independente um material conceitual antes de ser tratado em sala de aula e posteriormente, em sala, passa um tempo considerável trabalhando em equipes resolvendo problemas com aplicações conceituais baseado no material estudado. A última etapa do TBL é a aplicação dos conceitos do curso, contudo, na área de telecomunicações uma grande barreira presente nas instituições de ensino é o elevado custo dos equipamentos para desenvolvimento prático. Além disso, tradicionalmente são usados equipamentos com funções dedicadas a uma única atividade. Para solucionar este problema e aplicar a etapa prática do TBL na engenharia elétrica e de telecomunicações este trabalho apresenta uma proposta de adaptação do TBL utilizando um conjunto de rádio definido por software (SDR), usando o hardware USRP e o software GNU Radio, esse conjunto possui funcionalidades flexíveis e de baixo custo. Para finalizar, é mostrado a aplicação do TBL na componente curricular de instalações elétrica e ainda, é apresentado a proposta de aplicação da etapa prática do TBL utilizando o SDR no aprendizado de componentes curriculares da engenharia de telecomunicações.

Palavras – chave: Rádio Definido por Software, USRP, GNU Radio, Metodologia ativa, Sala de aula invertida, Aprendizado baseado em equipes.

ABSTRACT

One of the great challenges of engineering education is bringing theory closer to practical applications. The Team Based Learning (TBL) methodology, which uses the flipped classroom concept, is actively centred on the student. The students study a conceptual material independently before it is covered in the classroom. After that, they spend a considerable amount of time working in groups in the classroom solving problems with conceptual application of the material studied. The last stage of TBL is the application of course concepts. However, in the telecommunications field, the high cost of equipment for practical development in educational institutions is a big barrier. Moreover, the equipment used is traditionally dedicated to a single activity. In order to solve this problem and apply all the TBL stages in telecommunications and electrical engineering teaching, this report presents a proposal of an adaptation of this methodology using a software defined radio set using the USRP hardware and the GNU Radio software. This set offers flexible functionalities and low cost. Finally, we show the application for each TBL stage in electrical installations and also, the proposal of application of the TBL practical stage using SDR in learning process a module of each of the telecommunication engineering curriculum components shown as an example.

Keyword: Software Defined Radio, USRP, GNU Radio, Active Learning, Flipped Classroom, Team Based Learning.

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIACÕES	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivo Geral.....	3
1.4 Objetivo Específico.....	3
1.5 Trabalhos relacionados	3
1.6 Estrutura Deste Trabalho	5
2 METODOLOGIAS DE ENSINO	7
2.1 Introdução	7
2.2 Metodologia Ativa	7
2.3 Sala de aula Invertida.....	12
2.4 Aprendizado baseado em equipes.....	15
2.5 Considerações Finais Deste Capítulo.....	19
3 FUNDAMENTOS DE SDR.....	20
3.1 Introdução	20
3.2 USRP.....	22

3.2.1	USRP 1	23
3.2.2	USRP N210	30
3.3	GNU Radio	37
3.4	Considerações Finais Deste Capítulo.....	41
4	APLICAÇÃO DO TBL E PROPOSTAS DO TBL COM SDR	42
4.1	Introdução	42
4.2	Aplicação do TBL em Instalações Elétricas	43
4.3	Proposta do TBL com SDR em Princípios de Comunicação	46
4.3.1	Material Teórico	46
4.3.2	Aplicação SDR	49
4.4	Proposta do TBL com SDR em Comunicações Digitais	51
4.4.1	Material Teórico	52
4.4.2	Aplicação SDR	59
4.5	Considerações Finais Deste Capítulo.....	61
5	RESULTADOS	62
5.1	Introdução	62
5.2	Análise do TBL em Instalações Elétricas	62
5.3	Modulador e Demodulador DSB-SC	66
5.4	Amostragem, quantização e codificação.....	69
5.5	Considerações Finais Deste Capítulo.....	72
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	73
6.1	Introdução	73

6.2	Conclusões	74
6.3	Contribuição Deste Trabalho	76
6.4	Trabalhos Futuros	77
	BIBLIOGRAFIA.....	78
	ANEXO I	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estratégias de aprendizado ativo. Adaptado de [45].	8
Figura 2.2 – Distribuição do tempo para aprendizado ativo. Adaptado de [45].	11
Figura 2.3 – Sala de aula invertida [56].	14
Figura 2.4 – Sequência de atividades do TBL. Adaptado de [60].	16
Figura 3.1 – Diagrama de blocos de SDR. Adaptado de [62].....	21
Figura 3.2 – Frente dos módulos USRP. (a) USRP1 [67] e (b) USRP N200/N210 [68].....	22
Figura 3.3 – Placa mãe do USRP [66].	23
Figura 3.4 – Fluxograma da USRP [67].....	26
Figura 3.5 – <i>Motherboard da USRP</i> . Adaptado de [66].	27
Figura 3.6 – Placas filhas (a) BasicTX e (b) BasicRX [67].....	28
Figura 3.7 – Placas filhas (a) LFTX e em (b) LFRX [67].....	29
Figura 3.8 – Especificações do USRP1 [67].....	29
Figura 3.9 – <i>motherboard</i> USRP N210 [68].....	30
Figura 3.10 – Diagrama de blocos da <i>motherboard</i> USRP N210 [68].	31
Figura 3.11 – Especificações da USRP N210 [68].	32
Figura 3.12 – Características das <i>daughterboard</i> [69].....	32
Figura 3.13 – Sugestão de aplicações e relação de placas filhas [69].	33
Figura 3.14 – BasicTX <i>daughterboard</i> 1-250 MHz [70].....	34
Figura 3.15 – <i>Daughterboard BasicRX</i> [71].	35
Figura 3.16 – <i>Daughterboard LFTX</i> [72].	35
Figura 3.17 – <i>Daughterboard LFRX</i> [73].	36
Figura 3.18 – Estrutura de um projeto SDR Utilizando o GNU Radio [Autor].....	39
Figura 3.19 – Tela inicial do GRC [Autor].	40

Figura 4.1 – Diagrama do modulador DSB – SC [81].....	47
Figura 4.2 – (a) Mensagem $m(t)$; (b) espectro de (a) [81].....	48
Figura 4.3 – (a) Sinal modulado $\varphi_{DSB-SC}(t)$; (b) espectro de. $\varphi_{DSB-SC}(t)$ [81].....	48
Figura 4.4 – Demodulador DSB – SC [81].....	49
Figura 4.5 – Diagrama de blocos do modulador DSB-SC desenvolvido no GRC [Autor].	50
Figura 4.6 – Diagrama de blocos do demodulador DSB-SC [Autor].....	51
Figura 4.7 – Sinal amostrado e seu espectro de Fourier [81].....	54
Figura 4.8 – Processo de amostragem [81].....	56
Figura 4.9 – Diagrama de blocos PCM [81].....	57
Figura 4.10 – Quantização de um sinal analógico amostrado [81].....	58
Figura 4.11 – Diagrama do GRC para gerar a amostragem [Autor].....	59
Figura 4.12 – Processo de quantização construído do GRC [Autor].....	60
Figura 4.13 – Processo de codificação binária construído no GRC [Autor].....	60
Figura 5.1 – Valor médio das respostas da Tabela 2 [Autor].....	66
Figura 5.2 – (a) Mensagem $m(t)$; (b) Portadora [Autor].....	67
Figura 5.3 – FFT da mensagem $m(t)$ [Autor].....	67
Figura 5.4 – (a) Sinal modulado e (b) FFT do sinal modulado [Autor].....	68
Figura 5.5 – Sinal demodulado [Autor].....	68
Figura 5.6 – Sinal senoidal de mensagem [Autor].....	69
Figura 5.7 – Espectro FFT da mensagem [Autor].....	69
Figura 5.8 – Trem de pulsos gerado pelo GRC [Autor].....	69
Figura 5.9 – Sinal amostrado gerado pelo GRC [Autor]	70
Figura 5.10 – Espectro FFT do sinal amostrado [Autor].....	70
Figura 5.11 – Quantização com parâmetro de 1 bit [Autor]	71
Figura 5.12 – Quantização com parâmetro de 2 bits [Autor].....	71

Figura 5.13 – Quantização com parâmetro de 3 bits [Autor]..... 71

Figura 5.14 – Codificação binária obtido pelo GRC [Autor]..... 72

LISTA DE ABREVIACÕES

A/D	Conversor Analógico Digital
ABENGE.....	Associação Brasileira de Educação em Engenharia
BE.....	Back-End
COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
D/A	Conversor Digital Analógico
DDC	Digital Down Converters
DSB-SC	Banda Lateral Dupla com Portadora Suprimida
DUC	Digital UP Converters
FE	Front-End
FI	Frequência Intermediaria
FPGA.....	Field Programming Gate Array
GPL	GNU GeneralPublic License
GRC.....	GNU Radio Companion
iRAT.....	Individual Readiness Assessment Test
LSB	Banda Lateral Inferior
MBTI	Tipologia de Myers-Briggs
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PBL	Problem Based Learning
PCM	Pulse Code Modulation
PGA.....	Amplificador de Ganho Programável
PjBL	Project Based Learning
PPM.....	Pulse Position Modulation

PWM	Pulse Width Modulation
RAP	Readiness Assurance Process
RF	Rádio Frequencia
SDR	Software Defined Radio
SWIG	Simplified Wrapper and Interface Generator
TBL	Team Based Learning
tRAT	Team Readiness Assessment Test
USB	Banda Lateral Superior
USRP	Universal Software Radio Peripheral

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

As mudanças na sociedade trazem desafios para a educação formal. Como evoluir para tornar-se relevante e conseguir que todos aprendam de forma competente a conhecer, a construir seus projetos de vida e a conviver com os demais. Os processos de organizar o currículo, as metodologias, os tempos e os espaços precisam ser revistos [1].

A escola padronizada, que ensina e avalia a todos de forma igual e exige resultados previsíveis, ignora que a sociedade do conhecimento é baseada em competências cognitivas, pessoais e sociais, que não se adquirem da forma convencional e que exigem proatividade, colaboração, personalização e visão empreendedora [1].

Os métodos tradicionais de ensino, no qual a transmissão de informações é feita pelos professores, faziam sentido quando o acesso à informação era difícil. Com o fácil acesso à internet e a divulgação aberta de muitos cursos e materiais, pode-se aprender em qualquer lugar, a qualquer hora e com pessoas diferentes. Um novo método de ensino é complexo, necessário e um pouco assustador, porque não temos modelos prévios bem sucedidos para aprender de forma flexível numa sociedade altamente conectada [1].

Apesar de tantas deficiências e problemas estruturais, os setores educacionais, público e privado, buscam alternativas para o ensino e esse movimento se intensificará, porque as novas gerações não aceitam um modelo vertical, autoritário e uniforme de aprender. [1].

As instituições educacionais que estão aplicando mudanças no ensino, a fazem de maneira progressiva ou disruptiva. Nas mudanças progressivas, as instituições mantêm o modelo curricular disciplinar e priorizam o aprendizado ativo. Outras instituições que propõe mudanças mais disruptivos e inovadores usam um modelo curricular sem disciplinas e redesenharam toda a estrutura de ensino.

Associando uma mudança progressiva no ensino em engenharia de telecomunicações, tal que, se mantém o modelo curricular disciplinar e se insere atividades ativas, priorizando a relação de conceitos teóricos com a criação de protótipos em telecomunicações, é apresentado, então, a tecnologia de *software defined radio* (SDR) que revolucionou os conceitos de dispositivos para processamento de sinais. O SDR possui uma arquitetura de rádio flexível que permite a mudança da função do rádio utilizando alterações no software.

Diante da necessidade de mudanças no ensino e aprendizado de engenharia e a facilidade de utilização dos recursos de SDR aplicados a soluções de telecomunicações este trabalho propõe métodos e meios com mudanças progressivas para aproximar conteúdos teóricos de aplicações práticas.

1.2 Motivação

A necessidade de aplicações metodológicas no ensino superior de engenharia de telecomunicações e a aproximação dos complexos conceitos teóricos com ações práticas exigem soluções aplicáveis nas instituições de ensino no Brasil.

Considerando os recursos para aplicações práticas, existe um grande déficit de equipamentos para análise de sinais nas instituições de ensino. Este problema acontece principalmente devido ao alto custo de cada equipamento. Pode-se citar como exemplo de equipamentos: analisadores de espectro, processadores de sinais, osciloscópios, geradores de ondas, dentre outros.

A partir dos conceitos de metodologia ativa e Rádio Definido por *Software*, este trabalho foi motivado por associar eficientes recursos metodológicos de ensino com o baixo custo do conjunto *hardware + software* que compõe uma ferramenta altamente flexível, capaz de processar qualquer tipo de sinal em uma ampla faixa de frequência, permitindo que uma nova proposta de ensino na engenharia de telecomunicações seja apresentada neste trabalho.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar o conceito de metodologia ativa e expor como aplicar a sala de aula invertida com aprendizado baseado em equipes na engenharia de telecomunicações. Além disso este trabalho mostra que o conjunto de rádio definido por software composto pelo hardware USRP e o software GNU Radio compõe uma solução de baixo custo, de fácil manipulação e muito eficiente para desenvolvimento de protótipos de engenharia de telecomunicações.

1.4 Objetivo Específico

O objetivo específico deste trabalho é apresentar uma proposta de ensino para algumas componentes curriculares do curso de engenharia de telecomunicações utilizando a abordagem de sala de aula invertida com a metodologia ativa de aprendizado baseado em equipes usando na etapa de aplicações prática o SDR composto pelo USRP e o GNU Radio para desenvolver soluções compreendidas nas etapas teóricas da componente curricular estudada.

1.5 Trabalhos relacionados

O aprendizado ativo é qualquer abordagem na qual o aluno é envolvido e solicitado a participar do processo de aprendizado. Algumas universidades atuam com o aprendizado ativo há alguns anos

e se tornaram referência para outras instituições, pode ser citado a Universidade de Michigan nos Estados Unidos [2] e a Universidade da Colúmbia Britânica no Canadá [3]. Autores como [4, 5 e 6] demonstraram que a aprendizagem ativa, na engenharia, pode aumentar significativamente as notas do curso em relação aos métodos didáticos e é particularmente eficaz em turmas pequenas de 50 alunos ou menos. Além disso, pode afetar positivamente a motivação do aluno impactando diretamente no desempenho desse aluno.

Dentre os diversos métodos e meios utilizados para o aprendizado ativo, os mais comumente empregados no ensino de engenharia são *Problem based learning (PBL)*, o *Project based learning (PjBL)* e mais recentemente aplicado na engenharia o *Team based learning (TBL)*.

Existem muitos relatos de experiências envolvendo o PBL na engenharia, como podem ser vistos em [7, 8, 9 e 10], acerca do PjBL, também muito empregado na engenharia, tem-se diversos casos bem sucedidos disponíveis em [11, 12, 13 e 14], em ambas metodologias, tem-se propostas de estruturas curriculares e aplicações em componentes curriculares. Ainda que essas metodologias não fazem parte do objetivo deste trabalho, elas foram estudadas e analisadas para possibilidade de aplicações com o SDR.

O conceito de sala de aula invertida e a estrutura metodológica TBL são novos comparados ao PBL e PjBL, quando se trata de aplicações na engenharia eles se torna mais novo ainda. Aplicações com o TBL foram consolidadas no ensino de áreas médicas inicialmente, posteriormente ganhou espaço em ambientes de negócios e recentemente vem ocupando as escolas de engenharia. Mudanças nas estruturas curriculares para uso do TBL, aplicações do TBL em componentes curriculares e casos de sucesso com pequenas adaptações do TBL na engenharia podem ser encontradas em [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25]

A Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE) organiza anualmente o Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), no qual a comunidade acadêmica apresenta e discute sobre métodos e meio para melhoria do ensino em engenharia. A partir do

levantamento dos trabalhos publicados desde 2007 até 2018 foi construído a Tabela 1 com a evolução desses trabalhos e separados por categoria PBL, PjBL, TBL e demais metodologias ativas.

Tabela 1 – Evolução das publicações no COBENGE

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TBL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
PBL	5	6	4	3	10	3	8	15	11	11	15	20
PjBL	1	2	1	1	1	3	3	6	3	8	3	4
Demais	3	6	4	1	5	4	10	11	21	28	24	60

Observando a Tabela 1 é notável que o TBL começou a ocupar espaço nas instituições brasileiras há muito pouco tempo, e que a partir de 2014 no geral a mudança no ensino em engenharia com aplicações ativas cresce constantemente, mostrando que essa é a tendência para as instituições de ensino superior no Brasil.

Já a utilização do SDR acontece principalmente para desenvolvimento de projetos de pesquisas e protótipos de projetos específicos como pode ser visto em [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36], na graduação vem sendo utilizado para desenvolvimento de soluções para trabalhos de fim de curso, porém pelo custo do equipamento e facilidade de implementação, diversas instituições de ensino têm utilizado o conjunto no auxílio ao desenvolvimento de práticas em laboratório e simulações para extensão da sala de aula em casa como é mostrado em [37, 38, 39, 40, 41 e 42].

1.6 Estrutura Deste Trabalho

O Capítulo 1 apresenta a motivação, os objetivos e a estrutura deste trabalho.

O Capítulo 2 mostra os conceitos de metodologias de ensino ativa, sala de aula invertida e aprendizado baseado em equipes.

O capítulo 3 apresenta alguns conceitos fundamentais de rádio definido por software, o *hardware USRP* e o *software GNU Radio*.

O Capítulo 4 abrange a aplicação do TBL e as propostas do uso do TBL com execuções práticas utilizando o SDR no ensino superior.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos na aplicação do TBL e nas práticas propostas com SDR e compara com os resultados apresentados na teoria.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões e contribuições deste trabalho e os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGIAS DE ENSINO

2.1 Introdução

A tecnologia traz a integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e aprender acontece numa interligação simbiótica, profunda, constante entre o que chamamos mundo físico e mundo digital. Não são dois mundos ou espaços, mas um espaço estendido, uma sala de aula ampliada, que se mescla, hibridiza constantemente [1].

Por isso a educação é cada vez mais *blended*, misturada, híbrida, porque não acontece só no espaço físico da sala de aula, mas nos múltiplos espaços do cotidiano, que incluem os digitais. O professor precisa seguir comunicando-se presencialmente com os alunos, mas também digitalmente, com as tecnologias móveis, equilibrando a interação com todos e com cada um [1].

O modelo de ensino que envolve o aluno e faz ele pensar sobre o que está fazendo [43] e, em sala de aula, convoca o aluno a agir e fazer além de simplesmente assistir, ouvir e tomar nota são denominadas aprendizagem ativa [44].

2.2 Metodologia Ativa

A metodologia ativa é qualquer abordagem em que todos os alunos são solicitados a participar do processo de aprendizagem. Essa metodologia contrasta com o modelo tradicional de ensino, nos quais os alunos são receptores passivos de conhecimento de um especialista [45].

Aprendizagem ativa refere-se a uma ampla gama de estratégias de ensino que envolvem os alunos como participantes ativos em sua aprendizagem durante o horário de aula com seu instrutor.

Normalmente, essas estratégias envolvem uma certa quantidade de alunos trabalhando juntos durante a aula, mas também podem envolver trabalho individual e / ou reflexão. Essas abordagens de ensino vão desde atividades curtas e simples, como redação de periódicos, resolução de problemas e discussões emparelhadas, até atividades mais longas e envolvidas ou estruturas pedagógicas, como estudos de caso, dramatizações e aprendizado estruturado em equipe.

Em uma aula “tradicional”, é comum que apenas alguns alunos de um determinado curso participem de perguntas ou respostas. Em contraste, uma turma com atividades de aprendizado ativo, bem-sucedidas, oferece uma oportunidade, para todos os alunos de uma turma, de pensar e se envolver com o material do curso e praticar habilidades para aprender, aplicar, sintetizar ou resumir esse material.

Algumas atividades ativas para aplicações em sala de aula são descritas em [46], [47] e [48]. A Figura 2.1 apresenta um espectro de atividades de aprendizagem ativas organizadas pela complexidade e pelo comprometimento do tempo em sala de aula.



Figura 2.1 – Estratégias de aprendizado ativo. Adaptado de [45].

Há muitas maneiras de usar o aprendizado ativo na sala de aula, a Figura 2.1 mostra uma lista resumida de estratégias como:

Pausa para reflexão: é uma técnica destinada a promover uma escuta ativa. Ao longo da aula, após declarar um ponto importante ou definir um conceito chave, pare, deixe o aluno refletir e depois de esperar um pouco, pergunte se alguém precisa esclarecer-lo, ou solicite que o aluno revise suas anotações e façam perguntas sobre o que escreveram até o momento.

Atividade de escrita: em um momento da aula, o professor pede aos alunos que tirem uma folha de papel e respondam em dois minutos sobre os conceitos apresentados em aula.

Auto avaliação: Os alunos recebem um questionário ou uma lista de verificação de conteúdo para determinar a compreensão deles no assunto.

Discussão em grupo grande: Os alunos discutem um tópico em aula com base em uma leitura, vídeo ou um problema. O professor pode preparar uma lista de perguntas para facilitar a discussão.

Pensar e compartilhar em pares: Os alunos são solicitados a trabalhar primeiro em um determinado problema individualmente, posteriormente compararam suas respostas com um parceiro e sintetizam uma solução para compartilhar com a turma.

Grupos cooperativos em classe: cada grupo recebe uma pergunta para trabalhar, enquanto o professor circula pela sala respondendo perguntas, fazendo mais perguntas e mantendo os grupos ocupados. Depois de um tempo apropriado de discussão em grupo, os alunos compartilham seus pontos de discussão com o restante da turma.

Revisão por pares: Os alunos são solicitados a resolver uma atividade em casa e individual. O aluno envia essa atividade ao professor e uma cópia ao parceiro, em sala cada aluno aponta, no trabalho do parceiro, suas correções e críticas sobre a resolução do problema.

Avaliações em grupo: semelhante a revisão por pares, os alunos podem analisar apresentações ou documentos em grupo para avaliar a qualidade do conteúdo e a entrega de informações.

Debate: o professor apresenta um tópico ou problema e questiona os alunos, é dado aos alunos alguns minutos para organizar suas ideias, em seguida, essas ideias são colocadas em tópico no quadro.

Estudos de casos: É usado casos reais para descrever acontecimentos, situações, ações e consequências para a integração e associação do conhecimento.

Tecnologias práticas: Os alunos usam a tecnologia como programas de simulações para entender melhor os conceitos do curso.

Palestra interativa: O professor interrompe a palestra pelo menos uma vez por aula para que todos os alunos participem de uma atividade que eles trabalhem com o conteúdo apresentado, podendo ser interpretação de imagens, gráficos, fazer cálculos ou estimativas, etc.

Sessões de revisões ativas (jogos ou simulações): O professor faz perguntas e os alunos trabalham nelas em grupos. Então, os alunos são convidados a mostrar suas soluções para a sala e são discutidas as diferenças entre as soluções propostas.

Interpretação de papéis: Os alunos são convidados a representar um papel. Ao fazer isso eles têm uma ideia melhor dos conceitos e teorias que estão sendo discutidos.

Discussão em quebra-cabeça: Nesta técnica, um tópico geral é dividido em partes menores e inter-relacionadas. Cada membro da equipe é designado a ler e se tornar especialista em um tópico diferente. Depois que cada pessoa se torna especialista em sua peça do quebra-cabeça, eles ensinam os outros membros da equipe sobre essa peça do quebra-cabeça.

Aprendizagem por inquérito: os alunos usam um processo investigativo para descobrir conceitos. Depois que o professor identifica uma ideia ou conceito, uma pergunta é feita aos alunos para que eles levantem observações, formem hipóteses e especulem sobre conclusões. Em seguida, os alunos são recrutados a vincular a atividade à ideia ou ao conceito principal.

Teatro do Fórum: usa o teatro para descrever uma situação, no qual, os alunos participam do esboço para representarem possíveis soluções.

Aprendizagem experencial: Permite que os alunos vejam e experimentem situações com aplicações dos conceitos teóricos discutidos na sala de aula.

O uso de estratégias de aprendizado ativo não requer o abandono do formato de aula. Em vez disso, a adição de pequenas estratégias de aprendizagem ativa pode tornar as palestras mais eficazes para o aprendizado dos alunos. Essas atividades dão aos alunos apenas um minuto ou dois para verificar sua compreensão do material recente, praticar uma habilidade ou destacar lacunas em seu conhecimento antes de dar uma explicação.

O aprendizado ativo pode ser aplicado de diversas maneiras e ser executado em qualquer disciplina. Os alunos serão engajados em atividades pequenas ou grandes centradas em escrever, falar, resolver problemas ou refletir. A Figura 2.2 mostra o tempo distribuído em sala de aula para apresentação do conteúdo e aplicações de atividades ativas.

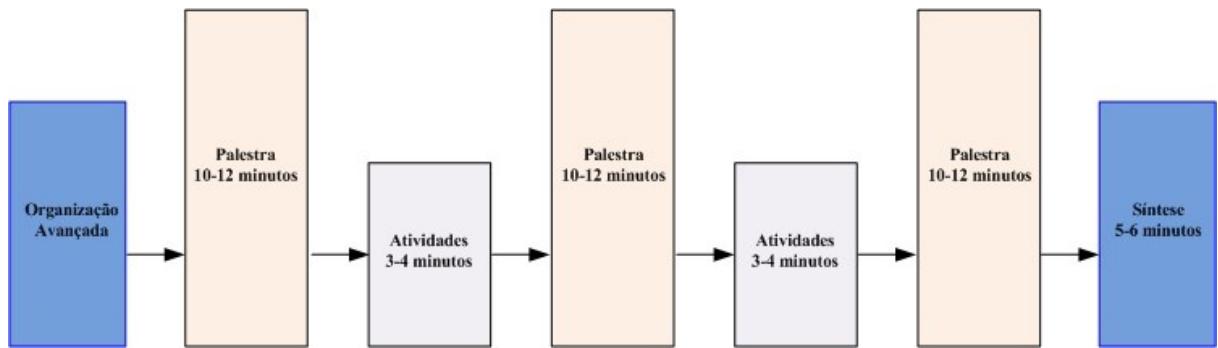


Figura 2.2 – Distribuição do tempo para aprendizado ativo. Adaptado de [45].

Existe uma base de evidências bem estabelecida que apoia o uso da aprendizagem ativa. Os benefícios de usar tais atividades são muitos, incluindo habilidades aprimoradas de pensamento crítico, maior retenção e transferência de novas informações, maior motivação, melhores habilidades interpessoais e diminuição do fracasso do curso [49].

Algumas ideias para aplicação do aprendizado ativo podem ser encontradas em [50] e [51]. Alguns vídeos do aprendizado ativo em ação aplicado pela Universidade da Colúmbia Britânica e da Universidade de Michigan podem ser vistos em [2] e [3].

Um modelo de aprendizagem ativa mais interessante é o de sala de aula invertida que concentra no ambiente virtual o que é informação básica do conteúdo de aprendizado e deixa para a sala de aula as atividades mais criativas e supervisionadas [1].

2.3 Sala de aula Invertida

A sala de aula invertida ou do inglês *flipped classroom* é um tipo de metodologia ativa e tem como pilar a inversão das atribuições tradicionalmente realizadas pelo estudante em sala de aula. A definição básica do *flipped classroom* é fazer em casa o que era feito em aula e fazer em aula o que era feito em casa [52]. O estudo teórico e os exercícios básicos são feitos em casa, enquanto o tempo do aluno na universidade é destinado a atividades complementares.

O *flipped classroom* vai além dessa simples inversão. Para alcançar os níveis de absorção de conhecimento desejados, o aluno pode utilizar vídeos, jogos, apostilas, manuais interativos e diversos outros materiais que introduzem o conteúdo de maneira efetiva [53].

A abordagem de sala de aula invertida é estudada desde os anos 1990, mas foi em 2007 que ganhou notoriedade com a aplicação nas instituições de ensino norte-americanas. Bergmann e Sams aplicaram a abordagem de sala de aula invertida em suas turmas e descreveram suas experiências pedagógicas em [52].

Inverter a sala de aula reforça a ideia de que o tempo de aula pode ser usado para envolver os alunos no aprendizado através de técnicas de aprendizagem ativa. Esse processo pode substituir as aulas tradicionais por estratégias de aprendizado mais centrado no aluno, inserindo discussões, aprendizado baseado em equipes, problemas ou projetos dentre outras formas de trabalho em grupo

e instrução por pares. A entrega de conteúdo é movida para fora da sala de aula, geralmente por meio de vídeos ou leituras antes da aula.

Não existe um padrão ou roteiro para o *flipped classroom*, a quantidade de inversão pode variar de curso para curso e de turma para turma. Essa inversão pode integrar atividades de 10 a 15 minutos fora da sala de aula e o professor ganha esse tempo em sala para aplicar atividades ativas. Por outro lado a inversão pode acontecer com todo o conteúdo exposto fora do horário de aula com vídeo aulas, leituras pré-aula e exercícios e todo o tempo de aula disponível para ser utilizado com atividades ativas.

O resultado de aplicações da sala de aula invertida, como mencionado acima, e apresentação de utilização de algumas técnicas podem ser vistos em [54] e [55] ambos trabalhos mostram resultados de melhora na aprendizagem.

O fácil acesso as tecnologias com conexões a internet aliado a inúmeras plataformas de distribuição de conteúdo, facilita o acesso ao conhecimento e possibilita a interação aluno professor fora da sala de aula. Este novo cenário permite que o tempo em sala de aula seja utilizado para atividades ativas de aplicações práticas. A Figura 2.3 ilustra o cenário de sala de aula invertida.

SALA DE AULA INVERTIDA

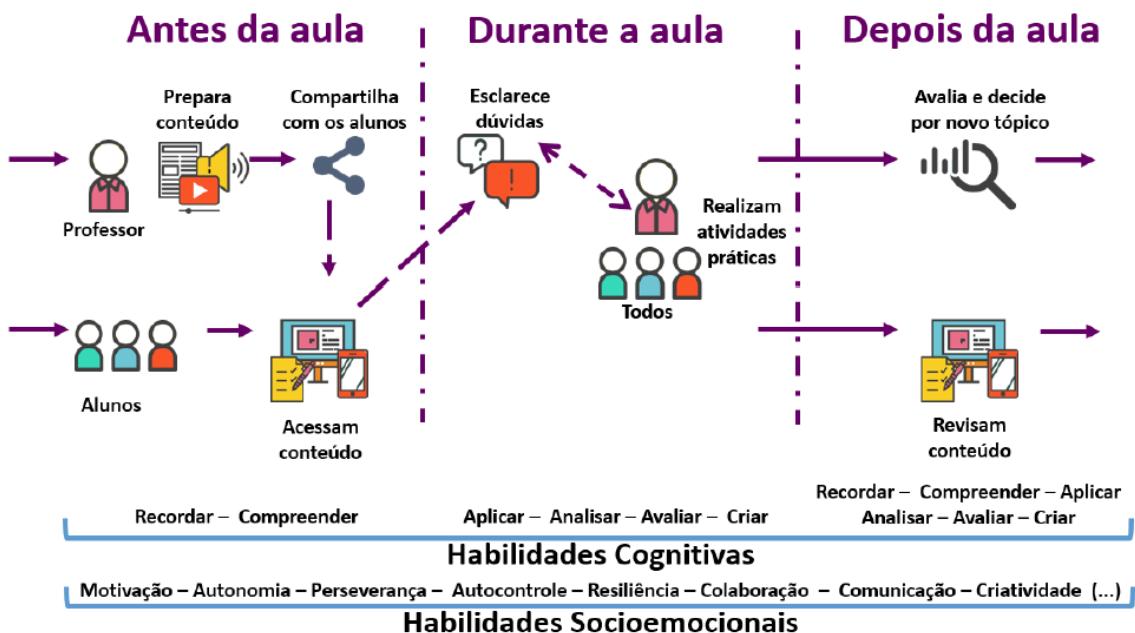


Figura 2.3 – Sala de aula invertida [56].

Pode ser visto na Figura 2.3 que antes da aula o professor prepara um material com conteúdo a ser abordado em aula e compartilha esse material com os alunos. Os alunos, por sua vez, acessam o conteúdo e estudam no horário que lhe convir. Em sala de aula são realizadas atividades práticas para aplicação dos conceitos estudados na etapa anterior e o professor esclarece dúvidas remanescentes. O conteúdo compartilhado pelo professor fica disponível para acesso do aluno após o término da aula para que possa ser revisado pelo aluno se assim for de seu interesse. Essa abordagem permite que algumas habilidades cognitivas e socioemocionais sejam desenvolvidas também.

O *Flipped classroom* é uma abordagem que permite aos professores implementar uma metodologia, ou várias metodologias, em suas salas de aula [57]. Visto que não existe uma metodologia específica a ser replicada, nem *check list* a seguir que leve a resultados garantidos. Inverter a sala de aula está mais associado a se deslocar a atenção do professor para o aprendiz e para a aprendizagem [52]. A metodologia proposta neste trabalho para utilização junto com a sala de aula invertida é o aprendizado baseado em equipes no inglês *Team Based Learning (TBL)*.

2.4 Aprendizado baseado em equipes

Em 1979, Larry Michaelsen notou que o tamanho de sua turma havia sido triplicado de 40 para 120 alunos. Ele estava usando uma abordagem de ensino socrático baseada em casos que envolve a facilitação de discussões de solução de problemas. Ele sabia que ele tinha dois grandes desafios; a primeira era envolver uma turma numerosa na resolução eficaz de problemas, e a segunda era dar aos alunos uma razão para se preparar antes da aula [58]. Ele desenvolveu uma abordagem muito próxima da estrutura que o TBL usa atualmente.

Michaelsen se certificou de que os alunos fossem preparados usando uma abordagem engenhosa, na qual os alunos eram testados individualmente e depois em equipes. Ele percebeu que os alunos estavam discutindo ativamente o material, que de outra forma seria abordado em uma palestra, e criou a estrutura denominada de “4S” para atividades em sala de aula, onde os alunos trabalhavam em um problema significativo (*Significant Problem*), o mesmo problema (*Same Problem*), e eles tinham que fazer escolhas específicas (*Specific Choice*) e fazer um Relatório Simultâneo (*Simultaneous Report*) [58].

Michaelsen constatou que esse método estruturado em solução de problemas para atividades em sala de aula realmente ajudava a envolver os alunos com o conteúdo e fazia eles entenderem como aplicar seu aprendizado [58].

O TBL é uma metodologia ativa baseada em equipes centrada no estudante, pois o aluno estuda um novo material conceitual antes de ser tratado em sala de aula, e posteriormente passa um tempo significativo em sala de aula trabalhando em equipes sobre os problemas e aplicações baseado nos materiais conceituais [15]. Essa metodologia educacional tem como principal estratégia o processo de aprendizado em pequenos grupos, favorecendo ativamente o saber e motivando em cada participante a busca pelo conhecimento. Michaelsen e Sweet descreveram o TBL como uma metodologia que ultrapassa as fronteiras que garante apenas o conteúdo.

O TBL é uma estratégia de ensino colaborativo baseada em evidências projetada em torno de unidades de instrução, denominadas de módulos, que são ensinadas em um ciclo de três etapas: preparação (*preparation*), garantia de preparação (*readiness assurance*) e aplicações de atividades que reforçam o conceito em questão (*application of course concepts*) [59]. Essa metodologia proporciona aos discentes a oportunidade de aplicar os conceitos teóricos e práticos do curso com a finalidade de solucionar os problemas ou projetos [60].

Antes da utilização do TBL em uma disciplina, é necessário estruturar a disciplina, tal que o seu conteúdo seja dividido em módulos. A Figura 2.4 ilustra a organização do tempo de cada unidade aplicada a um módulo da disciplina utilizando o TBL. Essa sequência de atividades é dividida nas etapas de *preparation*, *readiness assurance* e *application of course concepts*.

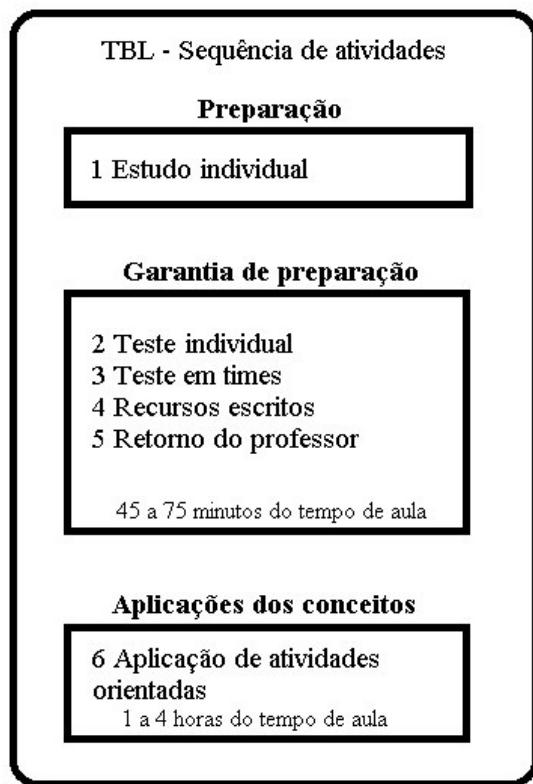


Figura 2.4 – Sequência de atividades do TBL. Adaptado de [60].

Na etapa de preparação em um ambiente fora da sala de aula, o discente realiza o estudo individual. Este estudo pode ser um artigo, um capítulo de livro, uma vídeo-aula postada pelo professor ou um material encontrado na web [60]. Nesta etapa de preparação a comunicação entre aluno e professor ocorre por meio de ferramentas educacionais virtuais como por exemplo Moodle, Blackboard dentre outros.

Em sala de aula, tem-se o *readiness assurance process* (RAP) no qual o docente aplica um teste individual denominado de *individual readiness assessment test* (iRAT) para verificar se o aluno cumpriu o passo de estudo individual. Posteriormente, com equipe de cinco a sete alunos [60], fixos até o fim da disciplina, o professor aplica o teste em equipes referido como *team readiness assessment test* (tRAT) com as mesmas questões do iRAT.

No RAT os alunos fazem o iRAT que pode ser composto de 5 a 20 questões de múltipla escolha. Depois de enviar suas respostas individuais, eles fazem o tRAT com as mesmas questões. Com a equipe, eles usam cartões de raspar com a resposta correta simbolizada com uma estrela. Todos os membros de cada equipe compartilham o mesmo resultado do tRAT, e os escores iRAT e tRAT contam para as notas dos alunos [59].

Ao término do tRAT os alunos podem construir suas apelações às respostas que o time não concorda, e para fazer uma argumentação às respostas das perguntas que eles não concordaram, os alunos podem elaborar os recursos baseados em evidências e argumentos válidos e recebem um *feedback* imediato a respeito destas apelações.

Para finalizar o RAP, é feito uma aula curta e específica que permite o esclarecimento dos eventuais equívocos aparentes que ocorreram durante o teste em equipe e na fase de recursos. Uma vez que estas etapas foram concluídas, o restante do tempo do módulo deve ser usado para aplicar as atividades que exigem do aluno a prática do conteúdo [60], então é desenvolvido a etapa final mostrada na Figura 2.4 *application of course concepts*.

O módulo exemplificado na Figura 2.4 é de 5 aulas. O iRAT ocupa de 15 a 20 minutos do tempo de aula e o tRAT é realizado em 20 a 25 minutos. Apelações e comentários em torno de 15 a 30 minutos. O restante do tempo de cada módulo é usado para esclarecer dúvidas remanescente e atividades orientadas aplicadas que também são realizadas em equipes.

Essa abordagem de teste que conta para a avaliação é importante, pois dá aos alunos um incentivo real para realizar o estudo prévio na etapa de preparação, assistir às aulas e contribuir para discussões em equipe. O RAP responsabiliza os alunos por virem para a aula preparados e trabalhando juntos com uma equipe.

O restante módulo é ocupado com atividades que ajudam os alunos a aprender como aplicar e estender o conhecimento que aprenderam e testaram previamente. As equipes recebem um problema ou desafio apropriado e precisam chegar a um consenso para escolher a melhor solução dentre as opções oferecidas. As equipes, em seguida, exibem sua opção de resposta, e o educador facilita uma discussão em sala de aula entre as equipes para explorar o tópico e as possíveis respostas para o problema [59].

O Team Based Learning foi projetado para proporcionar aos alunos o conhecimento dos conceitos e dos procedimentos. Embora, algum tempo na sala de aula seja despendido para verificar e garantir que os alunos dominem o conteúdo do curso, a maior parte deste tempo é utilizado para a solução de projetos e a resolução de problemas em *application oriented activities*. É importante ressaltar que nestas soluções são utilizados os conceitos aprendidos. Além disso, estes projetos e problemas são comumente encontrados no mercado de trabalho [60].

Não é uma tarefa fácil, mudar a metodologia tradicional do ensino, deixar de ser uma simples familiarização dos alunos com os conceitos do curso e passar a exigir que eles realmente usem esses conceitos para resolver os problemas. Fazer essas mudanças requer alterações nos papéis tanto dos docentes quanto dos discentes. O docente deixa de ser a principal fonte de distribuição de informações e passa a ser o responsável pela concepção e pela gestão do processo de aprendizado. Além de

preparar para o trabalho em equipe, o discente deixa de ser um receptor passivo de informações e passa a ter o compromisso com o processo de absorção dos conceitos e dos conteúdos.

Mudanças significativas como essas não acontecem automaticamente. No entanto, quando os quatro elementos essenciais do TBL são aplicados com sucesso os resultados são altamente confiáveis [60]. Estes elementos essenciais são:

- *Groups* - Os grupos devem ser devidamente formados e gerenciados;
- *Accountability* – a qualidade dos trabalhos individual e em grupo são de responsabilidade dos alunos;
- *Feedback* - os discentes devem receber comentários frequentes e oportunamente; e
- *Assignment Design* – o conhecimento individual e o desenvolvimento interpessoal da equipe são promovidos pelos trabalhos em grupo.

A utilização destes quatro elementos essenciais em um curso possibilita que a metodologia seja eficaz e contribua para que cada discente ou equipe aprenda e evolua de maneira coesa.

Para atingir objetivos educacionais mais amplos e construir uma base de conhecimento mais sólida para os discentes do curso de engenharia de telecomunicações, esta pesquisa utiliza a metodologia TBL juntamente com o desenvolvimento de soluções práticas. No âmbito educacional, o baixo custo e a flexibilidade são exigências para viabilizar essas soluções práticas. Assim, este trabalho usa o conjunto de rádio definido por software descrito no próximo capítulo.

2.5 Considerações Finais Deste Capítulo

Este capítulo apresentou os conceitos de metodologias ativa, sala de aula invertida e aprendizado baseado em equipes.

O próximo capítulo mostra os fundamentos de rádio definido por software, o hardware USRP e o software GNU Radio usados neste trabalho.

CAPÍTULO 3

3 FUNDAMENTOS DE SDR

3.1 Introdução

O conceito de Rádio Definido por Software originou-se da necessidade do Departamento de Defesa Americano de integrar diversas interfaces aéreas existentes nos sistemas de comando e controle, assim, tornou-se necessário desenvolver rádios que interagissem simultaneamente com duas ou mais interfaces aéreas e em várias faixas de frequência, executando a função de um *gateway*, e que pudesse ser modificado por uma simples troca de *software*, sem a necessidade de maiores ajustes em *hardware*, aumentando a vida útil dos equipamentos e resultando em uma maior relação custo/benefício [61].

O Termo *Software Defined Radio* (SDR) foi usado por Joe Mitola em 1991 para referir a classe reprogramável ou reconfigurável de rádios. Em outras palavras, uma mesma peça de *hardware* atuando com diferentes funções em diferentes momentos. O *SDR Forum* define a *Ultimate Software Radio* como o rádio que aceita o tráfego totalmente programável, além de deter o controle da informação e proporcionar suporte a ampla gama de frequência, através de uma interface para aplicações de *software* [62].

Nas últimas décadas foram feitos progressos na área de *hardware* de RF e com a difusão dos DSP's surgiram os transceptores digitais [63]. Um transceptor digital é dividido em duas partes: uma denominada de *front-end* (FE) que limita o sinal a uma faixa estreita e o translada para uma frequência menor, seguido de um conversor analógico digital (A/D), e a outra denominada de *back-end* (BE) que

é responsável por continuar o processamento do sinal, como, por exemplo, a modulação e a demodulação.

Os transceptores tradicionais são muito dependentes do seu *hardware* executando funções específicas que seguem um determinado protocolo. O *hardware* de um SDR precisa ser flexível, assim, a BE do transceptor pode ser feita por *software*.

O diagrama de blocos dos modelos SDR utilizados atualmente é mostrado na Figura 3.1.

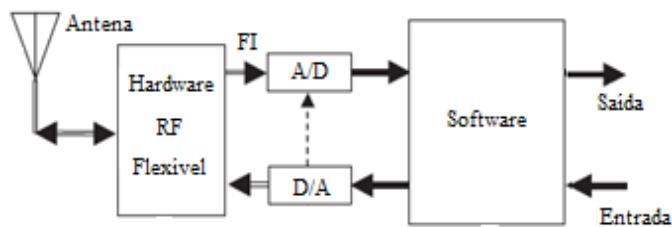


Figura 3.1 – Diagrama de blocos de SDR. Adaptado de [62].

Na Figura 3.1 a FE é composta pela antena, o *hardware* flexível e os conversores Analógico-Digital e Digital-Analógico. Já a BE é composta apenas pelo bloco do *software*.

O rádio definido por *software* fornece uma arquitetura de rádio flexível que permite a mudança da função do rádio e, com um processo que garante uma qualidade de serviço desejada. Essa flexibilidade na arquitetura de *hardware* combinada com a flexibilidade em arquitetura de *software*, por meio da implementação de técnicas de programação orientada a objeto, permite ao *software* de rádio a capacidade de integração com redes e com interfaces totalmente diferentes.

Há uma demanda no setor de telecomunicações para substituição de rádios tradicionais por uma solução consolidada e programável [64]. Dentre as diversas soluções adotadas no mercado a escolhida para este trabalho é o módulo de *hardware* *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) e o *software* *GNU Radio*. Esse conjunto está sendo o mais utilizado em aplicações de SDR, principalmente, pelo *software* possuir código aberto, e o *hardware* ser de custo baixo.

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais de um SDR e as características técnicas do *hardware* USRP 1 e USRP N210 e do *software* utilizados neste trabalho. Finalmente, são realizadas considerações finais deste capítulo.

3.2 USRP

O módulo USRP é um dispositivo de *hardware* desenvolvido pela Ettus Research [65] e em conjunto com um computador de uso geral compõe uma plataforma flexível de SDR. As principais vantagens desse conjunto é o baixo custo e alto desempenho para recepção, transmissão e processamento de RF. Para realização deste trabalho foi utilizado a versão 1 do USRP e a versão N210. O USRP1 custa \$700 e o N210 custa \$1700 suas principais características são apresentadas nesta seção. A Figura 3.2 mostra as duas versões de USRP usados neste trabalho.



Figura 3.2 – Frente dos módulos USRP. (a) USRP1 [67] e (b) USRP N200/N210 [68].

O USRP em sua essência implementa as seções de processamento digital em banda base e frequência intermediária (FI) de um sistema de comunicação de rádio. O seu projeto básico consiste no processamento da forma de onda, como a modulação e a demodulação, pelo computador que está conectado. Porém, todas as operações de alta velocidade como as conversões digitais para cima ou

para baixo, decimação e interpolação são realizadas e gerenciadas pela *Field Programming Gate Array* (FPGA) [66].

A arquitetura do USRP é dividida em duas partes, a primeira é a placa-mãe (*motherboard*) responsável pelas funções mais complexas, como, por exemplo, a modulação. A segunda são as placas-filhas (*daughterboards*) que contém o módulo de RF. As características técnicas e funcionalidades de cada versão USRP são descritos a seguir.

3.2.1 USRP 1

A *motherboard* possui quatro conversores A/D e quatro D/A de alta velocidade e um FPGA modelo Altera Cyclone EP1C12. Os conversores analógico/digital de alta velocidade são conectados as *daughterboards*, enquanto a FPGA utiliza uma interface USB 2.0 para conexão com o computador. A Figura 3.3 mostra a placa mãe do USRP [66].

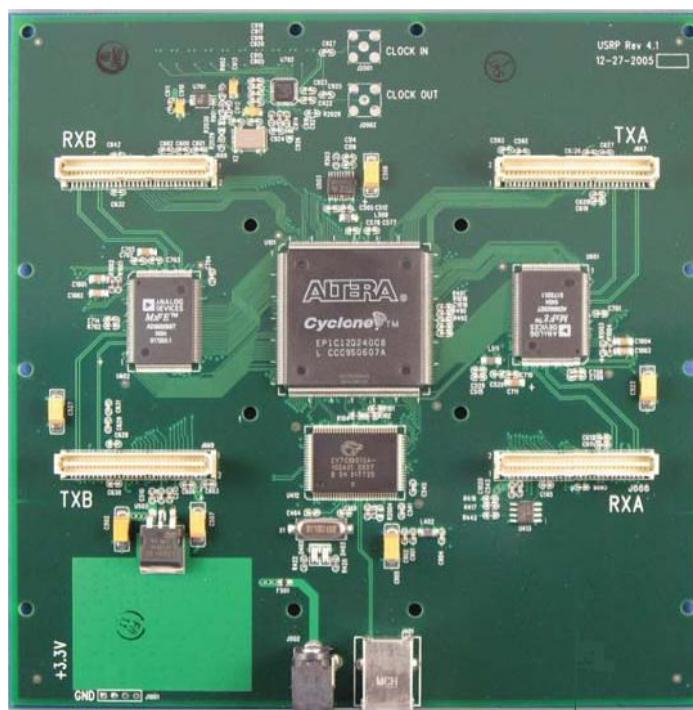


Figura 3.3 – Placa mãe do USRP [66].

Na Figura 3.3 pode ser observado que a placa mãe possui quatro *slots* brancos para a conexão das quatro placas filhas, no qual dois *slots* são para transmissão (TXA e TXB) e dois *slots* são para recepção (RXA e RXB). Os sinais provenientes das placas filhas passam pelos conversores (*chips* pretos entre os *slots* brancos), no centro da placa mãe encontra-se o FPGA Altera Cyclone e no centro inferior da placa encontram-se a entrada da alimentação de 6 V e uma porta USB 2.0 usada para conexão com o computador.

3.2.1.1 Conversores A/D e D/A

Para a recepção a placa mãe contém quatro conversores A/D de alta velocidade com 12 bits por amostra e uma taxa de amostragem de 64M amostras por segundo. Para evitar o efeito de *aliasing* apenas sinais com largura de banda de até 32 MHz podem ser digitalizados [66].

Os conversores A/D possuem uma faixa de tensão de 2 V_{pp} , e impedância de entrada de 50 ohms diferencial, ou seja, 40 mW ou 16 dBm. Antes do conversor A/D há um amplificador de ganho programável (PGA), usado para amplificar o sinal de modo que se possa utilizar a faixa de tensão de entrada do conversor por completo. O ganho do PGA é programável por *software* e pode atingir até 20 dB. Com ganho zero, a escala total é de 2 V_{pp} diferencial. Se o ganho for programado para seu máximo, ou seja, 20 dB, é necessário um sinal de $0,2 \text{ V}_{\text{pp}}$ para atingir a escala total [66].

Para a transmissão o USRP utiliza quatro conversores D/A de alta velocidade com 14 bits por amostra e taxa de amostragem de 128 M amostras por segundo. Portanto, a frequência de Nyquist é de 64 MHz. Contudo, deve-se manter esta taxa um pouco mais baixa, a fim de facilitar a filtragem. Uma faixa de frequência recomendada é de DC até 44 MHz. Os conversores D/A conseguem fornecer até 1 V_p para uma carga de 50 ohms, ou 10 mW (10 dBm). Assim, como na recepção há também um PGA logo após o conversor D/A para amplificar o sinal de saída. O PGA pode trabalhar com um ganho de até 20 dB e é programável via *software*. Os sinais de saída são sinais de corrente que variam de 0 até 20 mA. Esses sinais podem ser convertidos em tensão diferencial com um resistor.

3.2.1.2 FPGA

A FPGA é a “*peça chave*” do conjunto SDR e nele ocorre todo processamento digital do sinal anterior ao envio, ou para o computador com GNU Radio ou para as placas filhas. A FPGA limita a quantidade de dados de tráfego, pois o meio de conexão do USRP1 e o computador acontece pela porta USB.

A interface USB 2.0 possui uma taxa máxima de transferência total 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 $32 \text{ MBps} / (4 \text{ bytes}) = 8 \text{ M amostras por segundo}$. A taxa de amostragem mantém uma relação direta com a largura de banda do espectro do sinal, portanto, a largura de banda máxima do sistema é 8 MHz [66]. O USRP consegue operar em modo *full duplex*, sendo a transmissão independente da recepção, porém a banda máxima (soma das bandas dos canais em operação) não pode ultrapassar os 8 MHz.

A FPGA é reprogramável por meio da porta USB do computador e nela são alteradas informações de decimação e dos conversores para baixo (*Digital down converters – DDC*) para a recepção e a interpolação e dos conversores para cima (*Digital up converters – DUC*) para a transmissão. A Figura 3.4 mostra o fluxograma para a transmissão e para a recepção da USRP [67].

Na Figura 3.4 observa-se nos limites da FPGA, a presença do DDC e a decimação para diminuir a taxa de recepção e o DUC e a interpolação para aumentar a taxa de transmissão e, isto é necessário porque os conversores D/A e A/D do módulo operam com as taxas fixas de amostragem já descritas acima.

A função do DDC é converter o sinal centrado na banda intermediária para a banda base e fazer a decimação para ser transmitido pela interface USB. O sinal de entrada é complexo, e para transladar

esse sinal para banda base, o sinal de entrada é multiplicado por um sinal exponencial de frequência constante, usualmente centrada na IF, o sinal resultante é um sinal complexo centrado em zero [66].

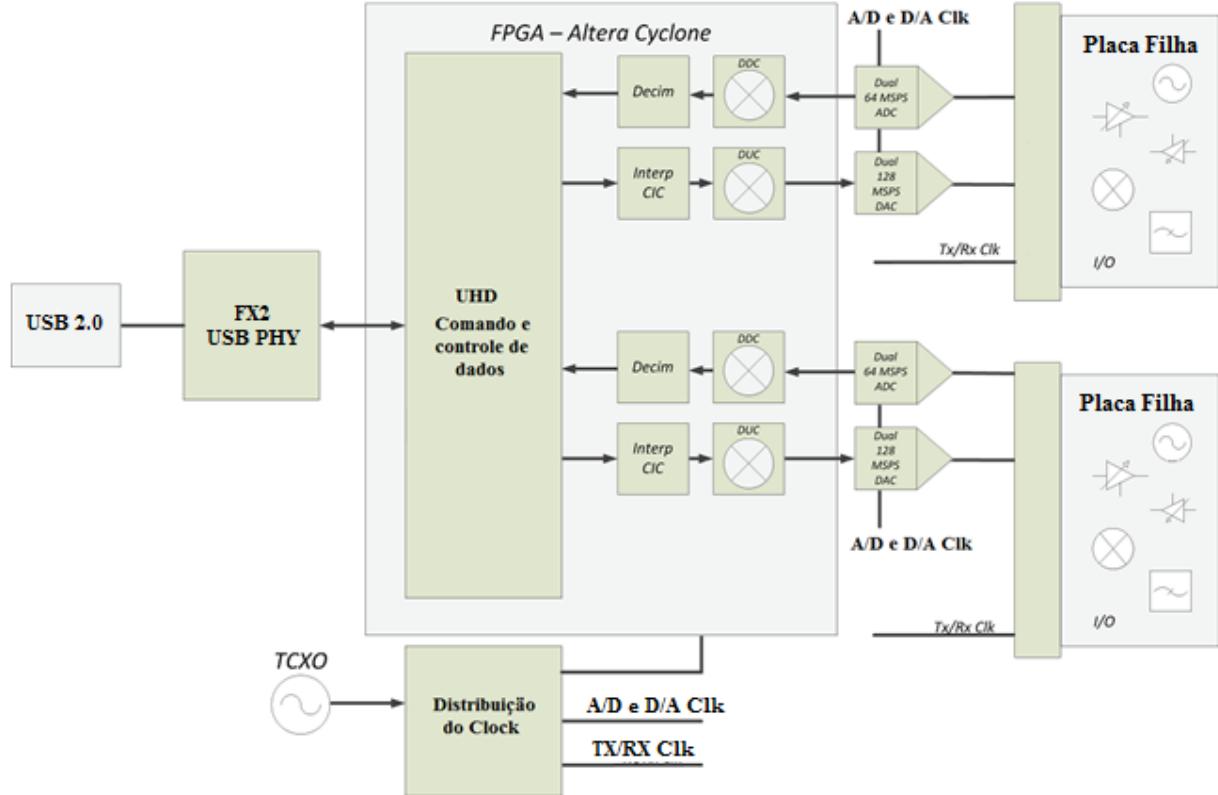


Figura 3.4 – Fluxograma da USRP [67].

Na transmissão é usado o DUC para que possa ser feita a interpolação do sinal, ocorrendo o caminho inverso da recepção. A FPGA recebe o sinal em amostras complexas no mesmo formato do que o da recepção, então o DUC interpola o sinal e o mesmo é transladado para uma frequência intermediária IF e enviado ao conversor analógico digital (A/D) [66]. A Figura 3.5 ilustra as *daughterboards* conectadas a *motherboard*.

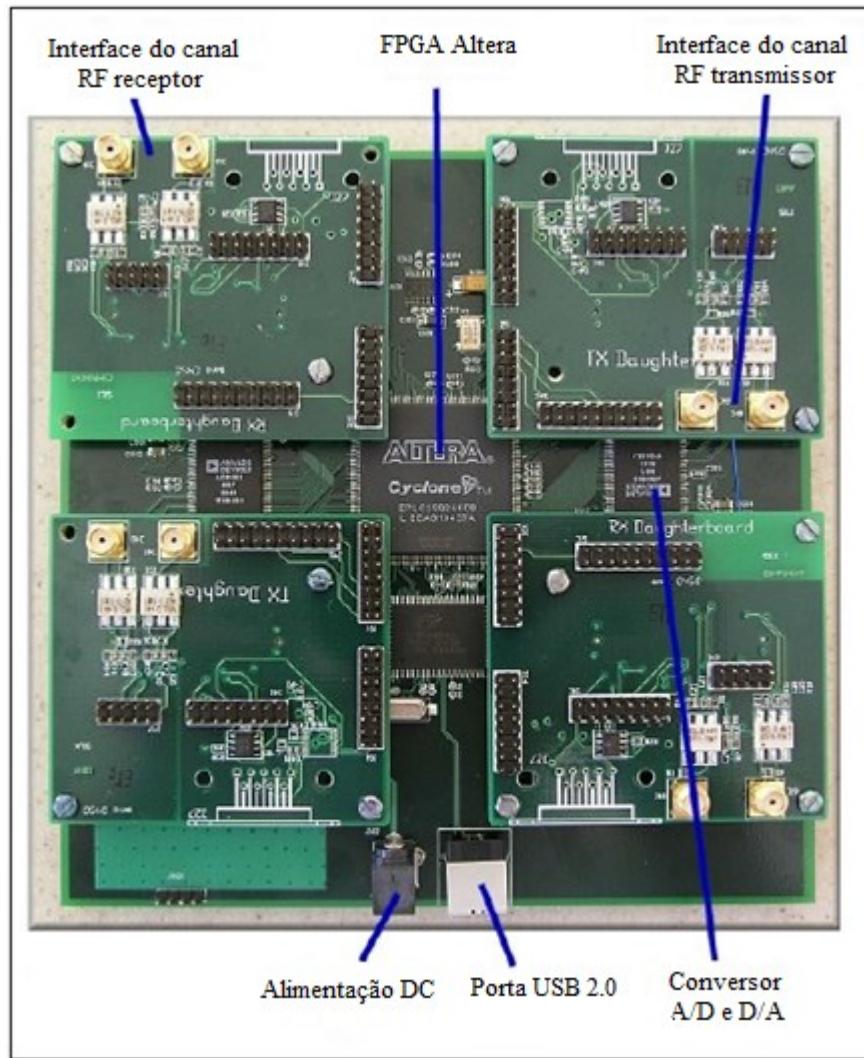


Figura 3.5 – *Motherboard da USRP*. Adaptado de [66].

A Figura 3.5 mostra os canais de interface RF para recepção e transmissão das quatro placas filhas que estão conectadas à placa-mãe, na qual é visto a FPGA, os conversores AD/DA, a porta USB e a entrada da alimentação DC.

A Ettus Research produz várias *daughterboards* que podem ser classificadas em placas transmissoras, receptoras ou transceptoras, cada uma abrange uma certa faixa de frequência e possui características próprias, as principais *daughterboards* são:

BasicRX, Receptor 1 - 250 MHz.

BasicTX, Transmissor 1 - 250 MHz.

LFRX, Receptor DC - 30 MHz.

LFTX, Transmissor DC - 30 MHz.

TVRX, Receptor 50 - 860 MHz.

DBSRX, Receptor 800 - 2400 MHz.

RFX400, Transceptor 400 - 500 MHz.

RFX900, Transceptor 800 - 1000 MHz.

RFX1200, Transceptor 1150 - 1400 MHz.

RFX1800, Transceptor 1500 - 2100 MHz.

RFX2400, Transceptor 2300 - 2900 MHz.

As placas filhas usadas neste trabalho são descritas a seguir.

3.2.1.3 BasicRX e BasicTX

As placas BasicTX e BasicRX são placas filhas de baixo custo, que possuem dois conectores SMA com impedância de 50 ohms. A BasicTX é usada para geradores de sinais com frequência que variam de 1 a 250 MHz e a BasicRX é usada para recepção com capacidade de 1 a 250 MHz. É aconselhável o uso de um *front end* externo, pois estas placas não possuem misturadores, filtros, ou amplificadores entre as entradas e saídas dos conversores A/D e D/A e os conectores SMA [67]. A Figura 3.6 mostra as placas BasicTX e Basic RX [67].



Figura 3.6 – Placas filhas (a) BasicTX e (b) BasicRX [67].

3.2.1.4 LFTX e LFRX

As placas LFTX e LFRX, assim como a BasicTX e BasicRX, são placas filhas de baixo custo, que possui dois conectores SMA com impedância de 50 ohms, além disso a LFTX e a LFRX possuem um filtro passa baixa de 30 MHz para *anti-aliasing* e usam amplificadores diferenciais ao invés de transformadores, possibilitando uma resposta em frequência até o nível DC [67]. A Figura 3.7 mostra as placas filhas LFTX e LFRX [67].

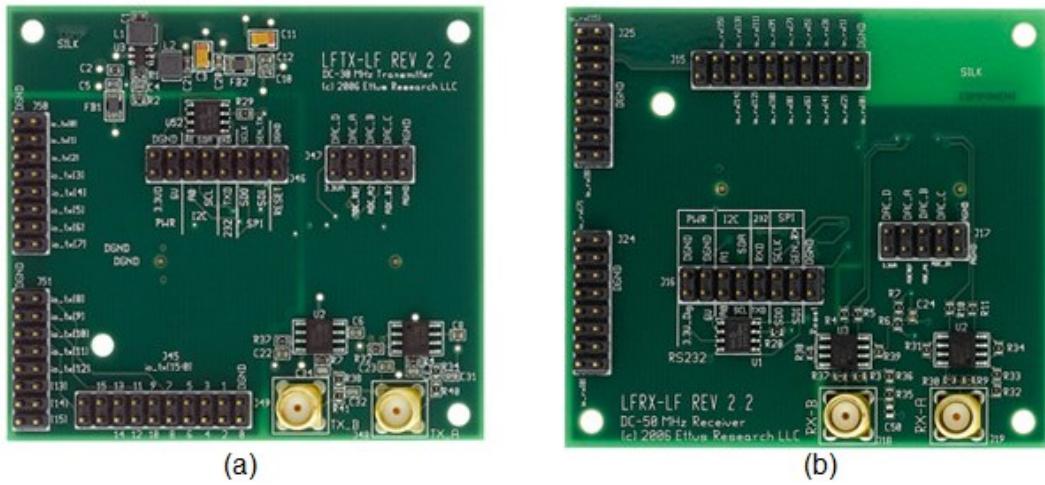


Figura 3.7 – Placas filhas (a) LFTX e em (b) LFRX [67].

A Figura 3.8 mostra um quadro de especificações que resume as características do USRP1.

Especificações		
Espec.	Tip.	Unid.
Energia		
Entrada DC	6	V
Consumo de corrente	0.7	A
w/WBX	1.7	A
Performance dos conversores e Clocks		
Taxa de amostragem A/D	64	MS/s
Resolução A/D	12	bits
Largura de banda SFDR A/D	85	dBc
Taxa de amostragem D/A	128	MS/s
Resolução D/A	14	bits
Largura de banda SFDR D/A	83	dBc
Taxa de amostragem do hospedeiro	16/8	MS/s
Precisão de Frequência	25	ppm
Performance RF (W/WBX)		
SSB/LO Supressão	35/50	dBc
Ruido de fase (1.8 GHz)		
10 KHz	-80	dBc/Hz
100 KHz	-100	dBc/Hz
1 MHz	-137	dBc/Hz
Potência de saída	15	dBm
IIP3	0	dBm
Figura do ruido recebido	5	dB
Físico		
Temperatura de operação	0 a 55°	C
Dimensões	18x21x5.5	cm
Peso	0.7	kg

Figura 3.8 – Especificações do USRP1 [67].

3.2.2 USRP N210

O USRP N210 oferece capacidade de processamento em faixa dinâmica de largura de banda. Ela se destina a aplicações de comunicações exigentes que requerem desenvolvimento rápido [68]. A *motherboard* possui arquitetura que inclui um FPGA Xilinx® 3A-DSP 3400, dois conversores digital analógico de 100 MS/s e dois conversores analógico digital de 400 MS/s e sua conexão com o computador hospedeiros é feita por meio da entrada Gigabit Ethernet [68]. A Figura 3.9 mostra a *motherboard* da USRP N210.

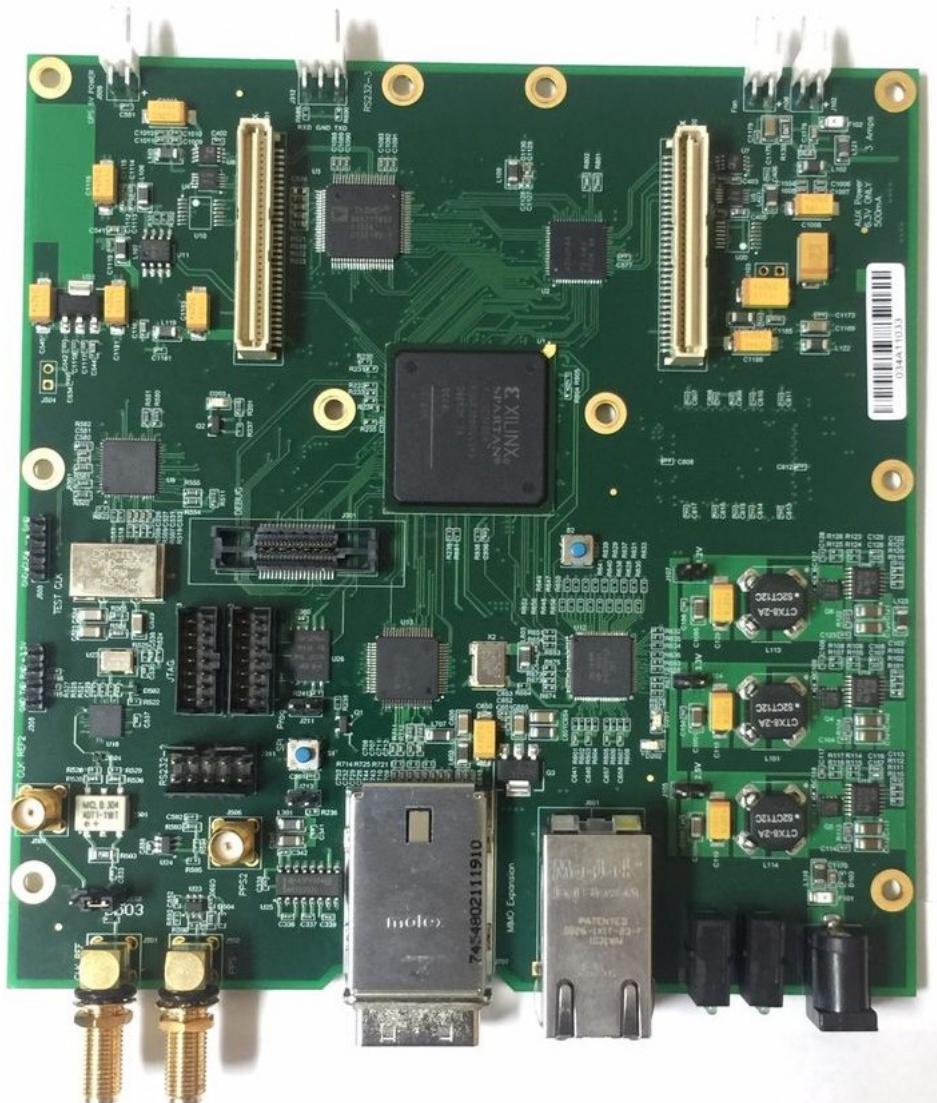


Figura 3.9 – *motherboard* USRP N210 [68].

Na Figura 3.9 pode ser observado que a *motherboard* possui dois *slots* brancos para a conexão das placas filhas destinadas a transmissão e recepção de sinais. Os sinais provenientes das placas filhas passam pelos conversores, no centro da *motherboard* encontra-se o FPGA Xilinx Spartan e na parte inferior da placa pode ser visto os conectores SMA, a porta de expansão MIMO, entrada da alimentação de 6 V e uma porta Gigabit Ethernet usada para conexão com o computador. A Figura 3.10 mostra o diagrama de blocos da *motherboard* [68].

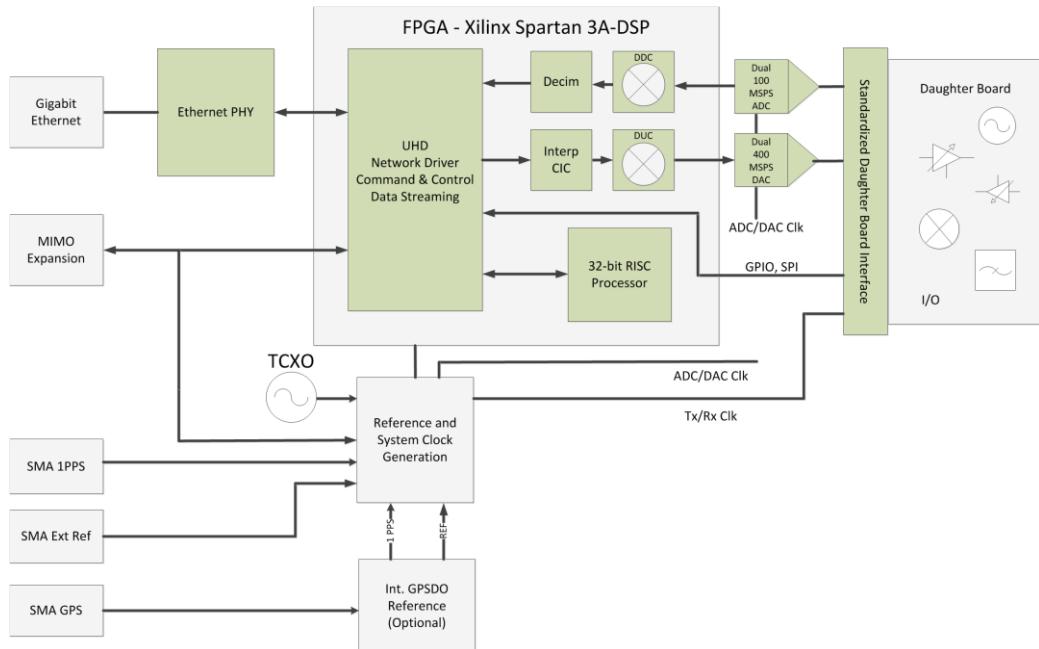


Figura 3.10 – Diagrama de blocos da *motherboard* USRP N210 [68].

Na Figura 3.10 podemos notar que a conexão com o computador hospedeiro é feita pela porta Gigabit Ethernet, na FPGA onde ocorre o controle e manipulação das informações e o processo de decimação e interpolação para a transmissão e recepção. No conversor digital analógico a taxa é de 100 M amostras por segundo e no conversor analógico digital a taxa é de 400 M amostras por segundo.

A figura 3.11 mostra um quadro com as especificações da USRP N210 [68].

Spec	Typ.	Unit
POWER		
DC Input	6	V
Current Consumption	1.3	A
w/ WBX Daughterboard	2.3	A
CONVERSION PERFORMANCE AND CLOCKS		
ADC Sample Rate	100	MS/s
ADC Resolution	14	bits
ADC Wideband SFDR	88	dBc
DAC Sample Rate	400	MS/s
DAC Resolution	16	bits
DAC Wideband SFDR	80	dBc
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s
Frequency Accuracy	2.5	ppm
w/ GPSDO Reference	0.01	ppm
RF PERFORMANCE (W/ WBX)		
SSB/LO Suppression	35/50	dBc
Phase Noise (1.8 Ghz)		
10 kHz	-80	dBc/Hz
100 kHz	-100	dBc/Hz
1 MHz	-137	dBc/Hz
Power Output	15	dBm
IIP3	0	dBm
Receive Noise Figure	5	dB
PHYSICAL		
Operating Temperature	0 to 55°	C
Dimensions (l x w x h)	22x16x5	cm
Weight	1.2	kg

Figura 3.11 – Especificações da USRP N210 [68].

A Figura 3.12 mostra uma tabela com a característica das *daughterboard* disponíveis para a USRP N210.

Daughterboard	Frequency Range(s)	Channel Count/Features	Bandwidth
Receive Only			
LFRX	0 – 30 MHz	2 RX IF or 1 IQ	30 MHz/Channel
BasicRX	1 – 250 MHz	2 RX IF or 1 IQ	100 MHz/Channel
Transmit Only			
LFTX	0 – 30 MHz	2 TX IF or 1 IQ	30 MHz/Channel
BasicTX	1 – 250 MHz	2 TX IF or 1 IQ	100 MHz/Channel
Transmit/Receive			
WBX-40	50 MHz – 2.2 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	40 MHz
WBX-120	50 MHz – 2.2 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	120 MHz
SBX-40	400 MHz – 4.4 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	40 MHz
SBX-120	400 MHz – 4.4 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	120 MHz
CBX-40	1.2 GHz – 6 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	40 MHz
CBX-120	1.2 GHz – 6 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	120 MHz
UBX-40	10 MHz – 6 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	40 MHz
UBX-160	10 MHz – 6 GHz	1 TX IQ, 1 RX IQ, FD	160 MHz

Table 2 – Ettus Research Daughterboard Characteristics

FD = full duplex, HD = half duplex, IF = intermediate frequency, IQ = quadrature interface

Figura 3.12 – Características das *daughterboard* [69].

Na Figura 3.12 a primeira coluna identifica o nome da placa filha a ser descrita, a segunda coluna apresenta a faixa de frequência de cada placa filha, a terceira coluna indica a quantidade de canais e os recursos em cada placa filha e na última coluna tem-se a largura de banda. A Figura 3.13 mostra uma sugestão de aplicação para cada placa filha da USRP N210.

Application Area	Frequency Range(s)	Transmit/Receive	Recommended Daughterboard
TV Broadcast Reception	54–806 MHz	RX Only	WBX
GPS Reception	L1 – 1575.42 MHz L2 – 1227.60 MHz And others	RX Only	WBX, SBX, CBX, UBX
GPS Record and Playback	L1 – 1575.42 MHz L2 – 1227.60 MHz And others	RX/TX	WBX, SBX, CBX, UBX
OpenBTS GSM Basestation	GSM900 – 890–960 MHz GSM1800 – 1850–1989 MHz	RX/TX	WBX, SBX, UBX
WiMAX	2.5 GHz	RX Only	SBX, CBX, UBX
Broadcast FM Reception	88–108 MHz	RX Only	WBX, UBX
802.11 B/G/N Development	2.4 GHz, 5 GHz	RX/TX	UBX
HF Communications	3–30 MHz	RX/TX	LFRX + LFTX
Amateur Radio (2m, 70cm, 33cm, 23cm)	144 MHz, 430 MHz, 915 MHz, 1.2 GHz	RX/TX	WBX, UBX
Public Safety/P25 VHF Transceiver	136–174 MHz	RX/TX	WBX, UBX
Radar Research	2–4 GHz	RX/TX	SBX, UBX

Table 1 – Command Applications and Suggested Daughterboards

Figura 3.13 – Sugestão de aplicações e relação de placas filhas [69].

Na Figura 3.13 a primeira coluna indica a área de aplicação, a segunda coluna mostra a faixa de frequência de atuação das aplicações, a terceira coluna apresenta a se a aplicação pode ser feita transmissão e recepção e a última coluna indica qual placa filha é recomendada para cada aplicação sugerida. As principais *daughterboard* utilizadas para este trabalho são descritas a seguir.

3.2.2.1 BasicTx Daughterboard

A placa-filha BasicTx é uma placa filha de baixo custo (\$85) que fornece capacidade de transmissão da USRP N210 de 1 a 250 MHz. O BasicTx usa dois transformadores de banda larga

para corresponder às saídas dual do DAC de uma USRP para conexões SMA de 50 ohms [70]. A Figura 3.14 mostra a BasicTX *daughterboard*.

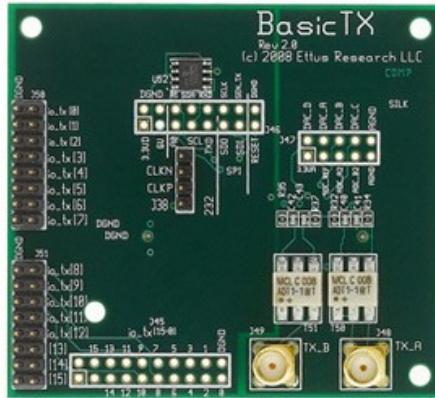


Figura 3.14 – BasicTX *daughterboard* 1-250 MHz [70].

A largura de banda da placa BasicTx permite que a USRP N210 opere em um modo de subamostragem quando a frequência de saída desejada está além da taxa de amostragem do *clock* dos DACs da USRP N210. Cada saída do BasicTx pode ser operada independentemente ou combinada em um único par I/Q, e o filtro apropriado deve ser utilizado nos modos de subamostragem.

3.2.2.2 BasicRX Daughterboard

A placa-filha BasicRx é uma placa-filha de baixo custo que fornece acesso direto às entradas do ADC. A placa pode aceitar sinais em modo real de 1 a 250 MHz. A BasicRx é ideal para aplicações que usam uma FE externa, fornecendo sinais relativamente limpos dentro de largura de banda operacional. Os transformadores de banda larga acoplam cada entrada RF a um único canal do ADC do dispositivo USRP N210. Os sinais amostrados pelo ADC são manipulados no FPGA e podem ser processados como dois sinais de modo real ou um único par de QI [71]. A Figura 3.15 mostra a *daughterboard* BasicRX.

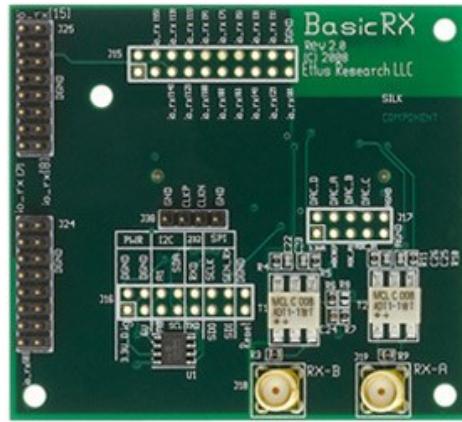


Figura 3.15 – *Daughterboard BasicRX* [71].

O BasicRX não inclui um oscilador local e é possível usar métodos de subamostragem para receber frequências mais altas. Neste caso, o usuário deve garantir que o sinal seja filtrado para evitar o aliasing de sinais indesejáveis.

3.2.2.3 LFTX Daughterboard

A placa-filha LFTX utiliza dois amplificadores operacionais de alta velocidade para permitir a transmissão de 0 a 30 MHz. A LFTX é ideal para aplicações na banda alta frequência, ou para aplicações que usam uma FE externa para converter e amplificar o sinal intermediário. As saídas da LFTX podem ser processadas independentes ou como um único par I/Q [72]. A Figura 3.16 mostra a *daughterboard* LFTX.



Figura 3.16 – *Daughterboard LFTX* [72].

3.2.2.4 LFRX Daughterboard

A placa filha LFRX fornece acesso direto às entradas do ADC. A placa pode aceitar sinais de modo real ou em quadratura de nível DC para 30 MHz. A LFRX é ideal para aplicações que usam uma FE externa, fornecendo sinais relativamente limpos dentro da largura de banda operacional. Os amplificadores operacionais de alta velocidade acoplam cada entrada RF a um único canal do ADC do dispositivo USRP N210. Os sinais amostrados pelo ADC são manipulados na FPGA e podem ser processados como dois sinais de modo real ou um único par de QI [73]. A LFRX não possui um oscilador local. A Figura 3.17 mostra a placa filha LFRX.

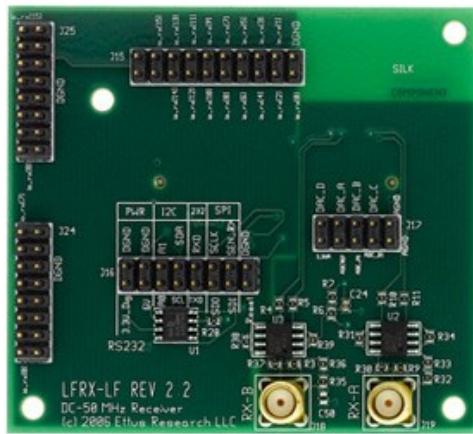


Figura 3.17 – *Daughterboard LFRX* [73].

3.2.2.5 WBX

A placa WBX é um transceptor de ampla largura de banda que fornece até 100 mW de potência de saída e um ruído de 5 dB. A WBX oferece 40 MHz de capacidade de largura de banda e é ideal para aplicações que requerem acesso a diversas bandas diferentes dentro de sua faixa - 50 MHz a 2,2 GHz. Exemplos de áreas de aplicação incluem comunicações móvel terrestres, rádios de banda marítima e de aviação; estações base de telefone celular e rádios multi-band GSM; radares multi-

estáticos coerentes; redes de sensores sem fio; transceptor cobrindo 6 bandas amadoras; transmissão de TV; dentre outros [74].

3.2.2.6 SBX

A placa SBX é um transceptor de largura de banda ampla que fornece até 100 mW de potência de saída e ruído de 5 dB. Os osciladores locais para as cadeias de recepção e transmissão operam de forma independe, o que permite a operação de banda dupla. A SBX é compatível com MIMO e fornece 40 MHz de largura de banda. A SBX é ideal para aplicações que requerem acesso a uma variedade de bandas na faixa de 400 MHz-4400 MHz. Áreas de aplicação de exemplo incluem WiFi, WiMax, transceptores de banda S e transceptores de banda ISM de 2,4 GHz [75].

O USRP1 e N210 também oferece suporte ao recurso *multiple-input and multiple-output* (MIMO), ou seja, ele pode usar múltiplas antenas simultaneamente para a recepção e a transmissão de sinais. Se os sinais digitalizados utilizarem a amostragem real, cada *daughterboard* terá dois canais independentes e duas antenas. Se for usada a amostragem complexa, cada placa suporta somente um canal. O software escolhido para os testes deste trabalho foi o *software open source* GNU Radio que tem algumas funções descritas na próxima seção.

3.3 GNU Radio

O GNU Radio é uma ferramenta de *software* livre e código aberto que fornece blocos de processamento de sinais utilizados nas aplicações de Rádios Definidos por *Software*. O GNU Radio representa a central de desenvolvimento do SDR e o uso dele junto com uma *front-end* compõe um kit completo de SDR. A *front-end* usada neste trabalho foi a USRP1 e a USRP N210 descrita na seção anterior.

O GNU Radio está licenciado sob a *GNU General Public License* (GPL) e isso significa que qualquer pessoa tem o direito de usar, copiar e modificar o GNU Radio sem limites, desde que as extensões sejam disponibilizadas sob a mesma licença [76].

Segundo Eric Blossom, o fundador do GNU Radio, o objetivo desta plataforma é “trazer o código o mais próximo possível da antena” e, portanto, “transformar os problemas de *hardware* em problemas de *software*”.

O GNU Radio é uma plataforma que provê o processamento de sinais em tempo real. Ele é estruturado em blocos de processamento de sinais para aplicações de SDR utilizando o *hardware* externo como o USRP [77].

Aplicações em GNU Radio são escritas na linguagem de programação Python, enquanto as funções de processamento de sinais de desempenho crítico são escritas em C++, usando extensões de processamento de ponto flutuante, quando disponível. Assim, o desenvolvedor pode implementar sistemas de rádio em tempo real e alta vazão em um ambiente de desenvolvimento rápido de aplicações de uso simples [76].

É recomendável que o GNU Radio seja instalado em um sistema operacional Linux. Para uma adequada instalação é aconselhável seguir os passos encontrados na Wiki do GNU Radio que pode ser acessado em [76]. Após instalado o GNU Radio inúmeros blocos de construção e processamento ficam disponíveis para uso no computador local. Uma lista com classes de blocos de processamento de sinais desenvolvidos e licenciados pelo GPL, implementados em linguagem C++, e disponíveis na biblioteca do GNU Radio podem ser encontrados em [78].

Para projetar transceptores o GNU Radio faz o uso da teoria dos grafos, na qual os vértices são blocos de processamento de sinal e as bordas representam o fluxo de dados entre eles [76]. Os grafos são construídos e executados na linguagem Python, enquanto os blocos são implementados na linguagem C++. A integração entre as linguagens C++ e Python é feita por meio do *Simplified*

Wrapper and Interface Generator (SWIG). Assim, tem-se um sistema de rádio de alta capacidade e desempenho, utilizando a eficiência e a rapidez da linguagem C++ aliados à simplicidade para desenvolvimento de aplicações com a linguagem Python. A Figura 3.18 foi construída para mostra como deve ser a estrutura de um projeto SDR desenvolvido no GNU Radio.

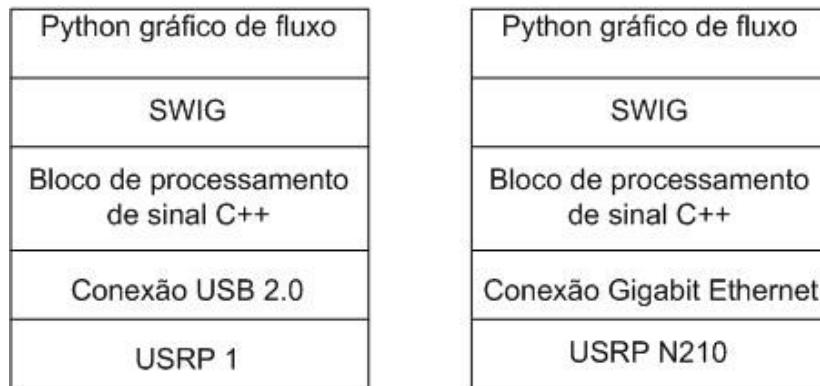


Figura 3.18 – Estrutura de um projeto SDR Utilizando o GNU Radio [Autor].

Uma interface gráfica é distribuída junto com o GNU Radio, denominada de *GNU Radio Companion* (GRC), que permite criar aplicações de processamento de sinais usando o “arrastar e soltar”, que é uma técnica de programação similar à aplicada no Simulink do MATLAB e no LabView. Assim, o projetista pode priorizar e focar o processamento dos sinais e o fluxo da informação a ser processada, tornando secundário o conhecimento da linguagem de programação ou a construção de novos códigos. A Figura 3.19 mostra a tela inicial do GRC que foi instalado no sistema operacional Linux (Ubuntu).

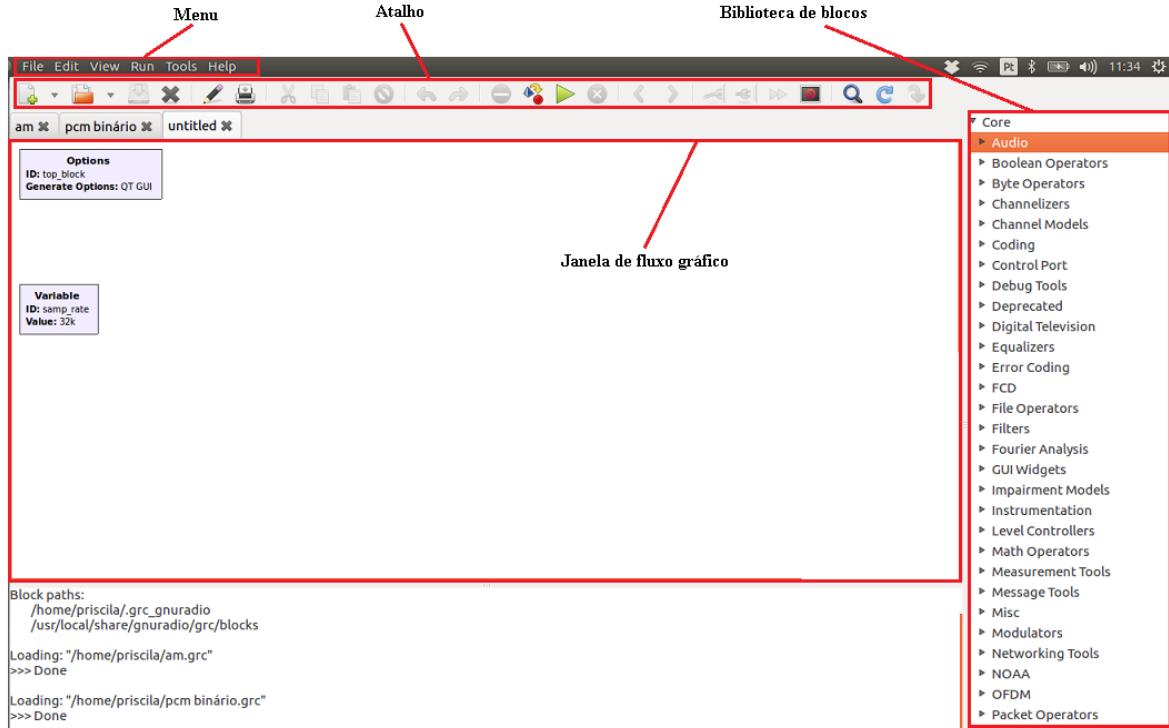


Figura 3.19 – Tela inicial do GRC [Autor].

Na Figura 3.19 é possível observar a barra menu, os atalhos disponíveis no GRC, a biblioteca de blocos disponíveis e uma janela de fluxo gráfico, na qual pode se criar um novo projeto SDR de maneira intuitiva movendo os blocos e conectando-os de acordo com o fluxo da informação do projeto.

Os sistemas de telecomunicações são criados graficamente de tal modo que os blocos de processamento de sinal são ligados em um diagrama de blocos. Esses blocos são implementados em C++ e são integrados por meio da linguagem de programação Python [78]. Assim, o desenvolvedor é capaz de implementar sistemas de rádio de alta capacidade, simples de usar, rápidos e com um ambiente de desenvolvimento de aplicações.

O GRC possui algumas limitações, pois nem todos os blocos do GNU Radio estão disponíveis, caso o projetista necessite de um bloco não disponível no GRC é possível apenas incluí-lo criando um gráfico de fluxo em *Python*, ou caso ele necessite de um bloco que não existe no GNU Radio é

possível criá-lo utilizando as linguagens de programação C++ e *Python*. Detalhes de funcionamento, aplicações e criação de novos blocos podem ser encontrados em [79].

Embora não seja essencialmente uma ferramenta de simulação o GNU Radio oferece suporte ao desenvolvimento de algoritmos de processamento de sinal utilizando dados pré-gravados ou gerados por *software*, permitindo o uso sem a necessidade de um *hardware* de RF.

3.4 Considerações Finais Deste Capítulo

Este capítulo apresentou os fundamentos de SDR e ainda mostrou algumas características do *hardware* e do *software* que compõem o conjunto SDR usado neste trabalho.

O próximo capítulo apresenta a aplicação do TBL em instalações elétricas e a propostas de aplicações da etapa prática do TBL usando o SDR para disciplinas de engenharia de telecomunicações.

CAPÍTULO 4

4 APLICAÇÃO DO TBL E PROPOSTAS DO TBL COM SDR

4.1 Introdução

De um modo geral, é possível constatar que as tecnologias digitais de informação e comunicação e as mídias digitais têm causado grande impacto em praticamente todos os segmentos da sociedade e sobretudo, no desenvolvimento do conhecimento científico e nos avanços da ciência. No entanto, na educação, a presença destas tecnologias é muito pouco significativa e seu potencial é pouco explorado [80].

A combinação de mídias e as tecnologias podem contribuir para que as atividades de ensino sejam muito mais ricas e sofisticadas sob o ponto da representação de conhecimento e da aprendizagem.

Explorar o potencial das tecnologias no desenvolvimento de atividades curriculares de distintas áreas do conhecimento, explicita os conceitos e a aula se torna mais clara e objetiva, não só no que se refere ao conteúdo, mas possibilita ao professor entender e identificar os conhecimentos do senso comum dos alunos, para que se necessário, possa intervir, auxiliando eles na análise e depuração de aspectos que ainda são deficitários, ajudando-o a atingir novo patamar de compreensão do conhecimento científico.

A integração do currículo com metodologias de ensino associado as tecnologias disponíveis compõe um conjunto que melhora a exposição do conteúdo, promove a participação do aprendiz, alcançando maior relevância no aprendizado e no processo cognitivo do aluno.

Este capítulo apresenta como é desenvolvido esse processo de integração, mostra como foi aplicado o TBL na componente curricular de instalações elétricas, e posteriormente, apresenta a adaptação de outras componentes curriculares para possibilitar a aplicação do TBL com associação do SDR na etapa prática.

4.2 Aplicação do TBL em Instalações Elétricas

O TBL foi aplicado na disciplina de instalações elétricas residenciais e prediais, do curso de engenharia civil da Faculdade ESAMC. Esta disciplina é composta de uma carga horária de 40 aulas e tradicionalmente tinha seu conteúdo apresentado de forma expositiva durante todo o tempo de aula.

Com o objetivo de alcançar melhor absorção do conteúdo e promover a aptidão de projetista dos alunos desta disciplina, a ementa foi reestruturada em módulos, tal que, cada módulo, seja realizado os passos do TBL mostrado na Figura 2.4. Para aplicação do TBL a disciplina teve seu conteúdo reestruturado e dividido em módulos, como:

Módulo A – Etapas de uma instalação elétrica residencial e predial (4 aulas);

Módulo B – Previsão de cargas e demanda de energia de uma instalação elétrica (6 aulas);

Módulo C – Luminotécnica (6 aulas);

Módulo D – Divisão da instalação em circuitos (6 aulas);

Módulo E – Dimensionamento de condutores e eletrodutos (6 aulas); e

Módulo F - Projeto de uma instalação elétrica residencial e predial (12 aulas).

No módulo A não é aplicado as etapas do TBL, pois por ser o primeiro contato dos discentes com a disciplina esse módulo é usado para mostrar o que será aprendido durante o curso e como será avaliado cada módulo. Como o objetivo final da disciplina é que o aluno esteja apto a projetar uma

instalação elétrica residencial e predial, desde a primeira aula ele deve estar atento ao conteúdo apresentado e aos conceitos distribuídos em cada módulo.

No módulo F, optou-se em não aplicar os passos do TBL, pois, as aulas desse módulo são destinadas a promover o desenvolvimento de um projeto completo fazendo a associação de cada módulo anteriormente trabalhado. Esse projeto também é realizado em equipe e a formação da equipe se mantém como definido no início do semestre.

Para aplicação do TBL nos módulos B, C, D e E, a classe é dividida em equipes. Estas equipes são permanentes até o fim do semestre. A divisão das equipes foi feita usando dinâmicas de grupo, entretanto, avalia-se o uso da ferramenta MBTI, uma técnica mais elaborada que identifica os tipos psicológicos indicando aspectos de personalidade e destacando o ponto forte de cada indivíduo. Essa técnica possibilita compor uma equipe mista e garante também que seja trabalhado o desenvolvimento pessoal e profissional de cada membro da equipe.

Em cada módulo são aplicados os passos da Figura 2.4. Para a preparação individual do conteúdo do módulo, que será trabalhado em classe, é disponibilizado ao aluno um material, hospedado na plataforma virtual de interação entre professores e alunos. Esse conteúdo é disponibilizado com antecedência de uma a duas semanas e sempre é colocado pelo menos dois materiais, um para leitura (item da NBR5410) e uma vídeo aula, no qual o aluno pode escolher um ou dois destes recursos ou ainda buscar qualquer outro material de sua preferência que contemple os conceitos do conteúdo indicado.

Quando o aluno acessa o conteúdo disponibilizado na plataforma virtual, o tempo de estudo fica registrado na plataforma, e essa informação está disponível para verificação do professor. Essa informação pode ser utilizada para subsidiar e tornar mais objetiva as avaliações do estudante.

A primeira atividade em sala de aula são os testes individuais e em equipe, para garantir que o aluno tenha cumprido com os estudos de preparação. O iRAT ocupa de 15 a 20 minutos do tempo de aula e o tRAT é realizado em 20 a 25 minutos. O restante do tempo de cada módulo é usado para

esclarecer dúvidas remanescentes e aplicações práticas que também são realizadas em equipe, estas práticas podem ser dadas em laboratório se necessário.

O objetivo da disciplina é que os alunos se tornem profissionais capazes de projetar uma instalação elétrica residencial e ou predial conforme a competência de sua profissão e seguindo as normas brasileiras para este setor, assim o módulo F necessita dos conhecimentos e habilidades desenvolvidas nos módulos A, B, C, D e E.

No início do semestre cada equipe é estimulada a construir a planta baixa e levantar os requisitos do projeto a ser trabalhado na etapa de aplicações práticas nos módulos B, C, D e E. Seguindo os padrões de desenho de projeto arquitetônico aprendido em disciplinas anteriores, cada equipe desenvolve a planta baixa da residência que irão projetar a instalação elétrica.

O iRAT e o tRAT de cada módulo contém questões, de múltipla escolha, conceituais sobre os itens do módulo em questão. Para o iRAT as questões elaboradas são respondidas em uma folha de respostas de múltipla escolha e no tRAT as mesmas questões são respondidas em uma raspadinha e a equipe tem o retorno imediato da resposta correta. Finalizado os testes, as apelações ou dúvidas remanescentes são sanadas com uma curta aula.

Na etapa 6 da Figura 2.4 são realizadas as atividades orientadas para aplicações dos conceitos abordados nos testes, assim, cada equipe aplica os conceitos aprendidos na planta baixa construída por eles, portanto, em cada final de módulo uma parte do projeto elétrico é feito em sala de aula e em equipe.

Inicia-se o módulo F revisando conceitos dos módulos anteriores e aloca-se um número total de aulas maior que os demais. Dessa forma, os discentes conseguem desenvolver e identificar alguns erros cometido em aplicações dos módulos anteriores e finalizar com segurança o projeto de instalações elétricas, e ainda são capazes de elaborar o memorial de cálculos e memorial descritivo da planta baixa criada no início do semestre.

Os resultados da aplicação do TBL em instalações elétricas são discutidos no capítulo de resultados. No Anexo I é mostrado um exemplo de aplicação do TBL para um módulo da disciplina de instalações elétricas.

4.3 Proposta do TBL com SDR em Princípios de Comunicação

A disciplina de Princípios de Comunicação possui 60 aulas teórica e 30 aulas práticas teve seu conteúdo dividido em módulos para aplicação do TBL em cada módulo, essa divisão é dada em: módulo A – Introdução a sinais (8 aulas teóricas e 4 aulas práticas); módulo B – Análise e transmissão de sinais (8 aulas teóricas e 4 aulas práticas); módulo C – Modulação em amplitude (24 aulas teóricas e 12 aulas práticas) contemplando Modulação em Amplitude Banda Lateral Dupla, Modulação em Amplitude em Quadratura, Modulação em Amplitude Banda Lateral Única e Modulação em amplitude: Banda Lateral Vestigial; e módulo D – Modulação em ângulo (Exponencial) (20 aulas e 10 aulas práticas).

Apenas no módulo A não é aplicado as etapas do TBL, ele é usado para mostrar o conteúdo introdutório da disciplina e direcionar como será avaliado cada módulo usando o TBL.

Considerando a grande dificuldade que os discentes apresentam para compreender os complexos conceitos e funcionalidades de cada módulo, a etapa de desenvolvimento de projetos e soluções de problemas do TBL tem auxílio do rádio definido por software, sendo destinado a etapa de *application oriented activities* em torno de 70% do tempo de aula do módulo.

4.3.1 Material Teórico

Para exemplificar uma aplicação do uso da metodologia de aprendizado TBL foi selecionado o módulo C item de modulação em amplitude banda lateral dupla com portadora suprimida. A secção

teórica descrita abaixo é o conteúdo disponível para a etapa de *preparation* estudo individual que será avaliado no iRAT e tRAT. Este conteúdo é encontrado no livro de texto disponível em [81]

4.3.1.1 Modulação em Amplitude Banda Lateral Dupla com Portadora Suprimida

A principal característica da modulação em amplitude banda lateral dupla com portadora suprimida (DSB – SC) é a variação da amplitude da portadora proporcional ao sinal mensagem – $m(t)$. A Eq. (1) mostra a portadora modulada DSB-SC

$$\varphi_{DSB-SC}(t) = m(t) \cos(\omega_c t) \quad (1)$$

em que: $\varphi_{DSB-SC}(t)$ é a portadora modulada; ω_c é a velocidade angular da portadora; e $m(t)$ é a sinal mensagem, modulador ou modulante.

A Figura 4.1. mostra o diagrama de blocos do modulador DSB – SC [81].

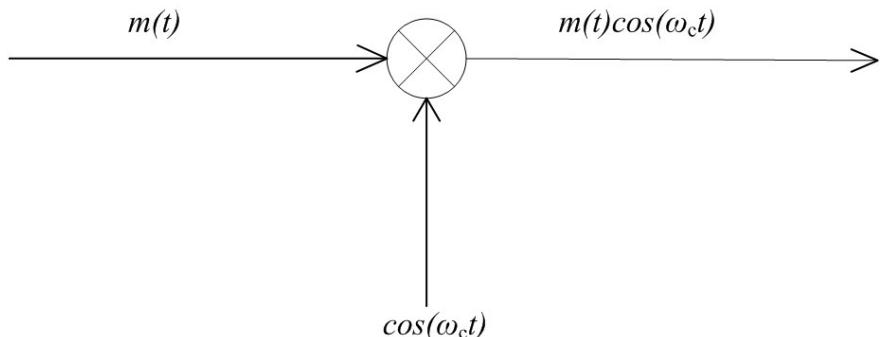


Figura 4.1 – Diagrama do modulador DSB – SC [81].

A modulação DSB – SC desloca o espectro da mensagem $m(t)$ para a frequência da portadora ω_c . Assim, ao aplicar a transformada de Fourier na Eq. (1), resulta na Eq. (2).

$$m(t) \cos(\omega_c t) \Leftrightarrow \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] \quad (2)$$

em que: $m(t) \leftrightarrow M(\omega)$.

A Figura. 4.2 mostra a mensagem $m(t)$ e seu espectro obtido aplicando a transformada de Fourier nesse sinal. Se a largura de banda de $m(t)$ for B Hz, a largura de banda do sinal modulado é igual a $2B$ Hz em torno da frequência da portadora [81].

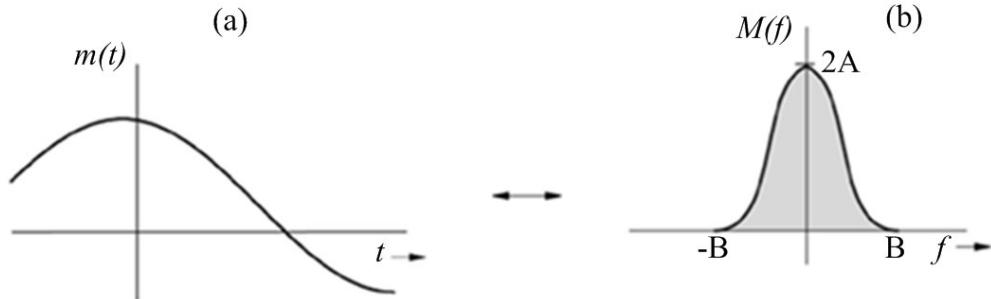


Figura 4.2 – (a) Mensagem $m(t)$; (b) espectro de (a) [81].

A Eq. (3) mostra a relação entre B e ω_c . Esta relação evita a interferência espectral entre as bandas lateral superior (USB) e inferior (LSB). As Figura 4.3 (a) e (b) ilustram o sinal e o espectro do sinal modulado, respectivamente.

$$\omega_c \geq 2\pi B \quad (3)$$

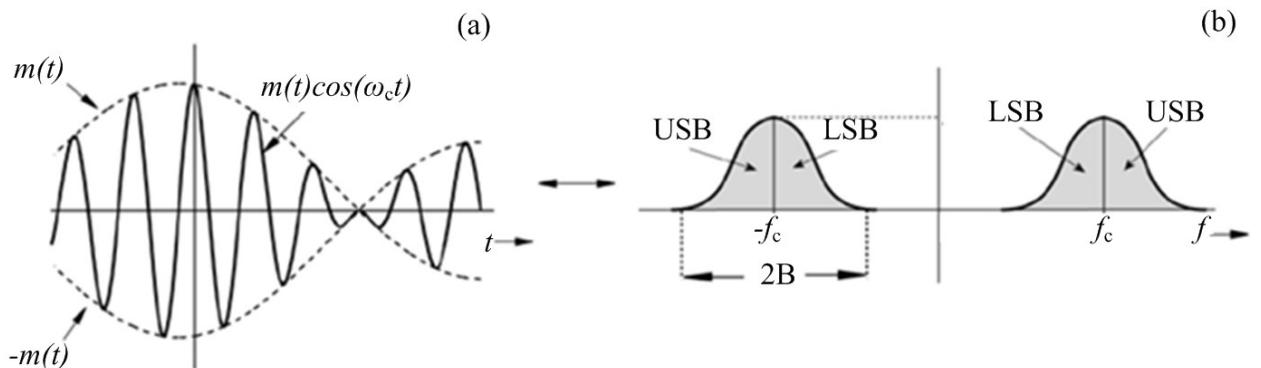


Figura 4.3 – (a) Sinal modulado $\varphi_{DSB-SC}(t)$; (b) espectro de. $\varphi_{DSB-SC}(t)$ [81].

A partir do conteúdo teórico apresentado são feitas perguntas conceituais para serem aplicadas no iRAT e tRAT. Após finalizar o *readiness assurance*, os alunos iniciam a *application of course concepts* do conteúdo DSB-SC. Para isso, os discentes solucionam problemas propostos em sala de

aula e utilizam o conjunto SDR com o objetivo de elaborar e desenvolver em equipes o projeto de um modulador no GRC reforçando aplicações práticas do conteúdo.

4.3.1.2 Demodulador DSB – SC

A Figura 4.4. mostra o diagrama de blocos do demodulador *DSB – SC* os cálculos detalhados que comprovam os valores do diagrama da Figura 4.4 são encontrados em [81].

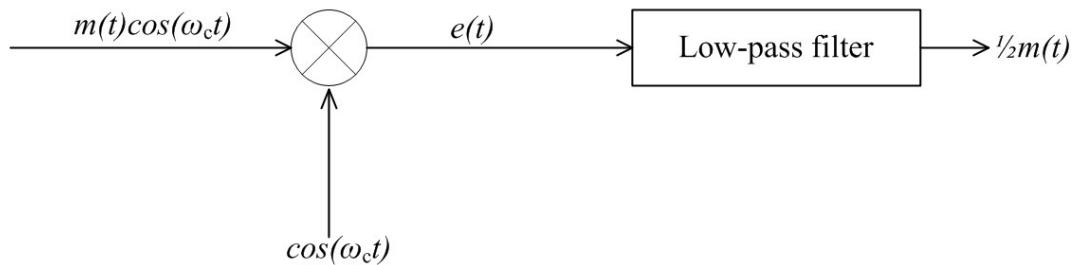


Figura 4.4 – Demodulador DSB – SC [81].

4.3.2 Aplicação SDR

Para mostrar o funcionamento do SDR utilizado para abordagem prática do DSB-SC foi construído no GRC o modulador e o demodulador.

4.3.2.1 Modulador DSC-SC

No ambiente de software do SDR foi simulado no GRC a mensagem $m(t)$ e a portadora, com duas senóides de frequências de 1 kHz e 10 kHz, respectivamente. A Figura 4.5 ilustra o modulador DSB-SC mostrado na Figura 4.1. Esse modulador foi desenvolvido utilizando o GRC.

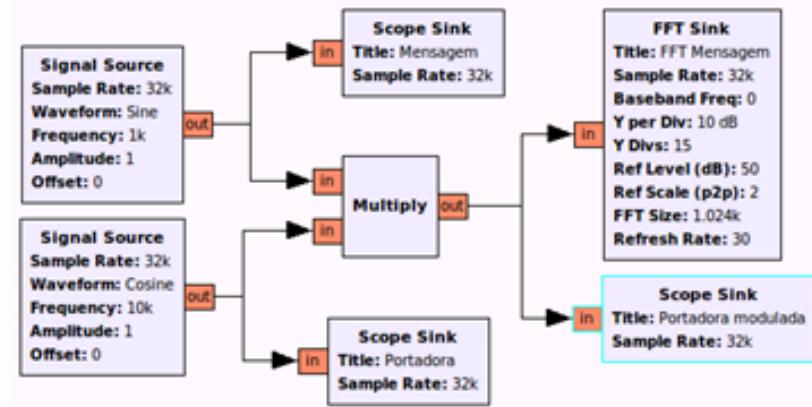


Figura 4.5 – Diagrama de blocos do modulador DSB-SC desenvolvido no GRC [Autor].

Na Figura 4.5 tem-se um bloco *Signal Source* com o sinal da mensagem de 1 kHz, um bloco *Signal Source* com o sinal da portadora de 10 kHz, a saída destes dois sinais entram em um bloco *Multiply* que faz a multiplicação para que a condição teórica apresentada na Figura 4.1 seja satisfeita. Para visualizar os sinais os blocos *Scope Sink* são colocados de maneira estratégica nos pontos onde se deseja ter a informação vista na tela. A saída do bloco de multiplicação é mostrada no bloco *FFT Sink* e o bloco *Scope Sink*, esses blocos são visualizadores gráficos do GRC e representam respectivamente um analisador de espectro e um osciloscópio virtual.

4.3.2.2 Demodulador DSB-SC

Para construir o demodulador DSB-SC no GRC foram utilizados diversos blocos provenientes do GNU Radio. A Figura 4.6 mostra o diagrama de fluxo desse demodulador construído no GRC.

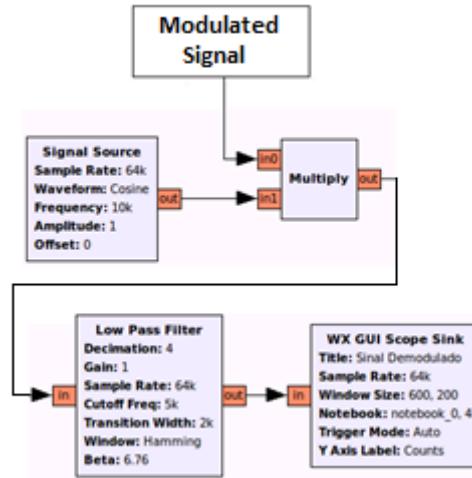


Figura 4.6 – Diagrama de blocos do demodulador DSB-SC [Autor].

A Figura 4.6 mostra o fluxo gráfico construído no GRC, a saída do bloco *Modulated Signal* com o sinal modulado e a saída do bloco *Signal Source* com o sinal de portadora entram no bloco *Multiply* que faz a multiplicação, a saída do bloco de multiplicação é a entrada do bloco do filtro passa baixa, o sinal resultante do filtro é mostrado no bloco visualizador gráfico *Scope Sink*. Esse fluxo de informações apresentado na Figura 4.6 é equivalente ao diagrama de blocos teórico mostrado na Figura 4.4. Os resultados dos sinais obtidos nesses fluxos gráficos são mostrados no capítulo de resultados.

4.4 Proposta do TBL com SDR em Comunicações Digitais

A disciplina de comunicações digitais é composta por 45 aulas teórica e 15 aulas práticas e teve seu conteúdo dividido em módulos para aplicação do TBL em cada módulo, essa divisão é dada em: módulo A – Introdução a comunicações digitais (3 aulas teóricas); módulo B – Amostragem e modulação por código de pulso (6 aulas teóricas e 3 aulas práticas); módulo C – Princípios de transmissão digital de dados (12 aulas teóricas e 4 aulas práticas); módulo D – Modulação digital (12

aulas e 4 aulas práticas); módulo E – Controle de erros (6 aulas teóricas e 2 aulas práticas); e módulo F – Tecnologias emergentes e novos desenvolvimentos (6 aulas teóricas e 3 aulas práticas).

Como mencionado anteriormente no módulo A não é aplicado as etapas do TBL, pois o primeiro módulo é reservado para familiarização do discente com a disciplina e entendimento do processo metodológico.

Visto que o conteúdo de comunicações digitais é complexo as ferramentas que compõe o SDR auxiliam na compreensão dos conceitos e funcionalidades de cada módulo, principalmente na etapa de desenvolvimento de projetos e soluções de problemas do TBL. O módulo B – Amostragem e modulação por código de pulso é descrito nas secções a seguir relacionando o material teórico com os desenvolvimentos práticos com SDR.

4.4.1 Material Teórico

Na modulação de pulsos, algum parâmetro do trem de pulsos varia de acordo com o sinal de mensagem. A modulação de pulsos é distinguida em duas famílias: a modulação de pulso analógica e a modulação de pulso digital. Na primeira, um trem de pulsos periódico é usado como onda portadora e algumas características de cada pulso variam de maneira contínua de acordo com o valor de amostra correspondente do sinal de mensagem. Contudo, na segunda, o sinal de mensagem é representado de uma forma discreta tanto em termos de tempo como de amplitude, permitindo assim sua transmissão na forma digital como uma sequência de pulsos codificados [82].

Inicia-se os estudos descrevendo o processo de amostragem, que é fundamental para todos os sistemas de modulação de pulso, tanto analógico quanto digital.

4.4.1.1 Teorema da amostragem

Sob certas condições, um sinal de tempo contínuo pode ser completamente representado por seus valores ou amostras uniformemente espaçadas no tempo. Essa propriedade vem de um resultado básico conhecido como teorema da amostragem [83].

No teorema da amostragem se um sinal for limitado em banda, ou seja, se sua transformada de Fourier for nula fora de um intervalo finito de frequências, e se as amostras forem tomadas suficientemente próximas em relação à frequência mais alta presente no sinal, então as amostras especificam unicamente tal sinal, podendo ser reconstruído perfeitamente [83].

Se um sinal, $g(t)$, cujo espectro é limitado em banda a B Hz, pode ser reconstruído exatamente, sem qualquer erro, a partir de suas amostras em tempo discreto tomadas uniformemente a uma taxa de R amostras por segundo. A condição é que $R > 2B$. Em outras palavras, a mínima frequência de amostragem para a recuperação perfeita do sinal é $f_s = 2B$ Hz [81].

Para provar o teorema da amostragem na Figura 4.7 tem-se um sinal $g(t)$ em (a) cujo espectro em (b) é limitado em banda a B Hz. Amostrar $g(t)$ a uma taxa f_s Hz significa tomar f_s amostras por segundo. Tal amostragem uniforme é efetuada com a multiplicação de $g(t)$ por um trem de impulsos em (c), que consiste em impulsos unitários repetidos periodicamente a cada T_s segundos. Isso resulta no sinal amostrado em (d), esse sinal consiste em impulsos espaçados a cada T_s segundos. O n -ésimo impulso, localizado em $t = nT_s$, tem amplitude $g(nT_s)$, que é o valor $g(t)$ em $t = nT_s$. Assim, a relação entre o sinal amostrado e o sinal analógico original é dado pela Equação (4) [81].

$$\bar{g}(t) = g(t)\delta_{T_s}(t) = \sum_n g(nT_s)\delta(t - nT_s) \quad (4)$$

O trem de impulsos pode ser expresso como uma série de Fourier exponencial calculada e mostrada na Equação (5) [81].

$$\delta_{T_s}(t) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\omega_s t}$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \quad (5)$$

$$\bar{g}(t) = g(t)\delta_{T_s}(t) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t) e^{jn2\pi f_s t}$$

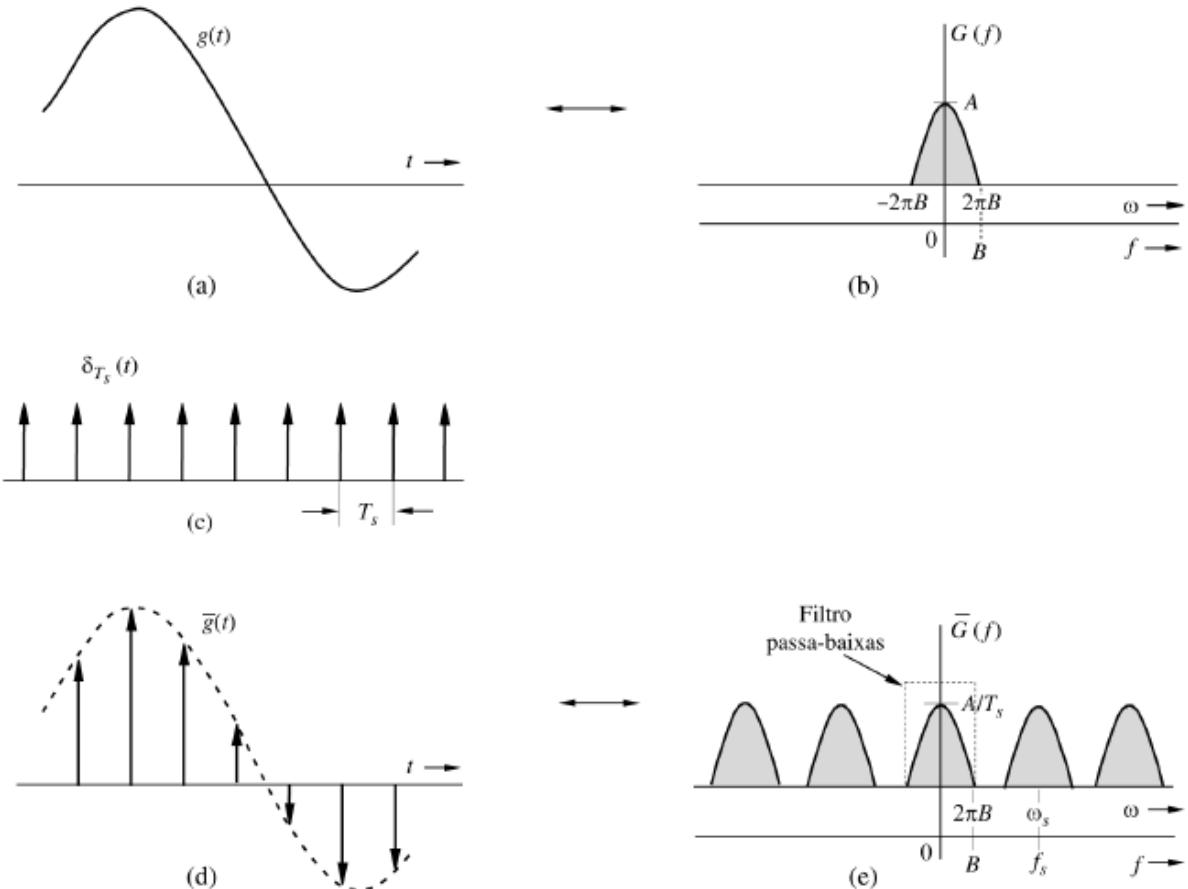


Figura 4.7 – Sinal amostrado e seu espectro de Fourier [81].

Para calcular $\bar{G}(f)$, a transformada de Fourier de $\bar{g}(t)$, toma-se a transformada de Fourier do somatório da Equação (5). Com base na propriedade de translação de frequência, a transformada do n -ésimo é deslocada nf_s , o que resulta na Equação (6). Isso significa que o espectro $\bar{G}(f)$ consiste

em $G(f)$ multiplicado por uma constante $1/T_s$ e repetido periodicamente a cada f_s como mostrado na Figura 4.7 (e) [81].

$$\bar{G}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(f - nf_s) \quad (6)$$

Após a amostragem uniforme que gera um conjunto de amostras, pode-se questionar se será possível reconstruir $g(t)$ a partir de $\bar{g}(t)$ sem perdas e distorção. A recuperação perfeita é possível se não houver sobreposição entre as réplicas de $\bar{G}(f)$ a Figura 4.7 (e) mostra que isso requer $f_s > 2B$ assim o intervalo de amostragem é mostrado na Equação (7) [81].

$$T_s < \frac{1}{2B} \quad (7)$$

Portanto desde que a frequência de amostragem f_s seja maior que o dobro da largura de banda B , $\bar{G}(f)$ consistira em repetições $G(f)$ que não se sobreponham. Assim o sinal pode ser recuperado aplicando um filtro passa baixas de largura de banda B [81]. A mínima taxa de amostragem exigida para recuperar o sinal é denominada taxa de Nyquist.

Amostradores práticos (não ideal) colhem cada amostra de sinal em um curto período de tempo T_p em torno de $t = kT_s$, tomando a média de valores do sinal $g(t)$ na janela T_p a Figura 4.8 ilustra a amostragem na prática [81].

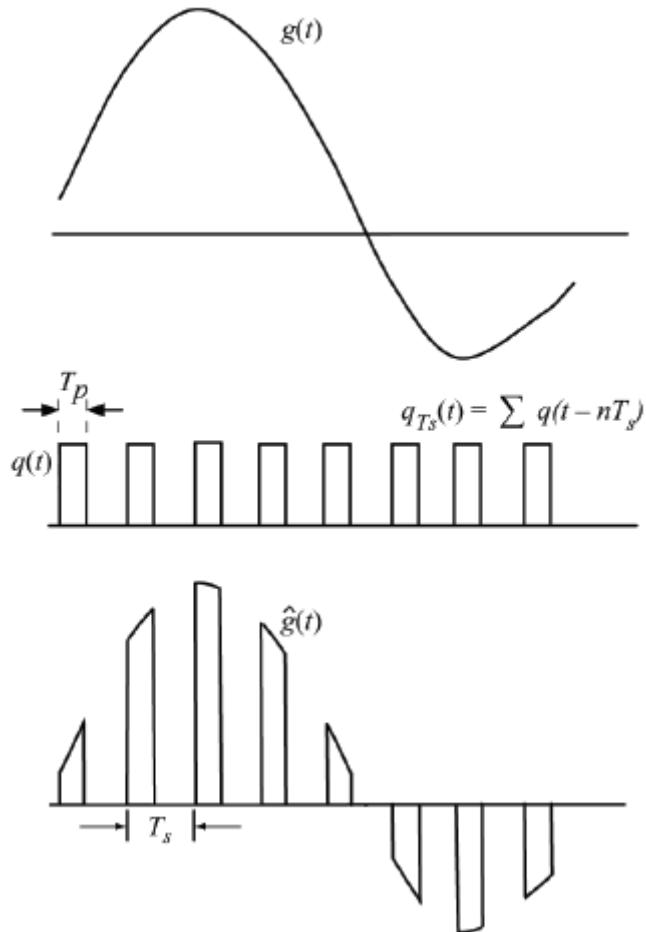


Figura 4.8 – Processo de amostragem [81].

O teorema da amostragem é muito importante na análise, processamento e transmissão de sinal, pois possibilita substituir um sinal temporal contínuo por uma sequência discreta de números. O sinal temporal contínuo é amostrado e os valores das amostras são usados para modificar certos parâmetros de um trem de pulsos periódicos. Pode ser variado as amplitudes, as larguras ou as posições, assim pode se ter modulação por amplitude de pulso (PAM – Pulse Amplitude Modulation), modulação por largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation) ou modulação por posição de pulso (PPM – Pulse Position Modulation). Uma importante forma de modulação por pulso empregada é a modulação por codificação de pulsos (PCM – Pulse Code Modulation) [81].

4.4.1.2 Modulação por Código de Pulso

A mensagem analógica original é representada por uma sequência de amostras, cada uma assumindo um dos níveis de quantização preestabelecido. A transmissão dessa sequência quantizada é tarefa de sistemas de comunicação digital. Formas de onda de sinal devem, então, ser usadas para representar a sequência de amostra quantizadas no processo de transmissão. Um mecanismo comumente empregado para este propósito é a modulação por codificação de pulsos.

A função do PCM é representar cada amostra quantizada por uma combinação ordenada de dois pulsos básicos 0 e 1. Cada um dos possíveis L valores de amostra pode ser escrito como uma sequência de bits de comprimento $\log_2 L$, cada amostra pode, assim, ser mapeada em uma sequência curta de pulsos que representa a sequência binária de bits [81]. A Figura 4.9 mostra o diagrama de blocos de um sistema PCM.

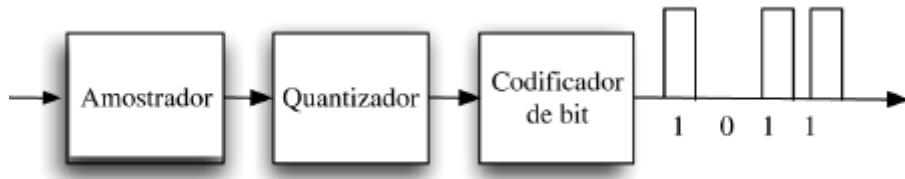


Figura 4.9 – Diagrama de blocos PCM [81].

Para a quantização, limita-se a amplitude do sinal de mensagem ao intervalo de $(-m_p, m_p)$, como mostrado na Figura 4.10. Nota-se que m_p não é necessariamente a amplitude de pico da mensagem. As amplitudes da mensagem que ultrapassam $\pm m_p$ são simplesmente truncadas. Portanto, m_p , não é um parâmetro do sinal de mensagem, é o limite do quantizador.

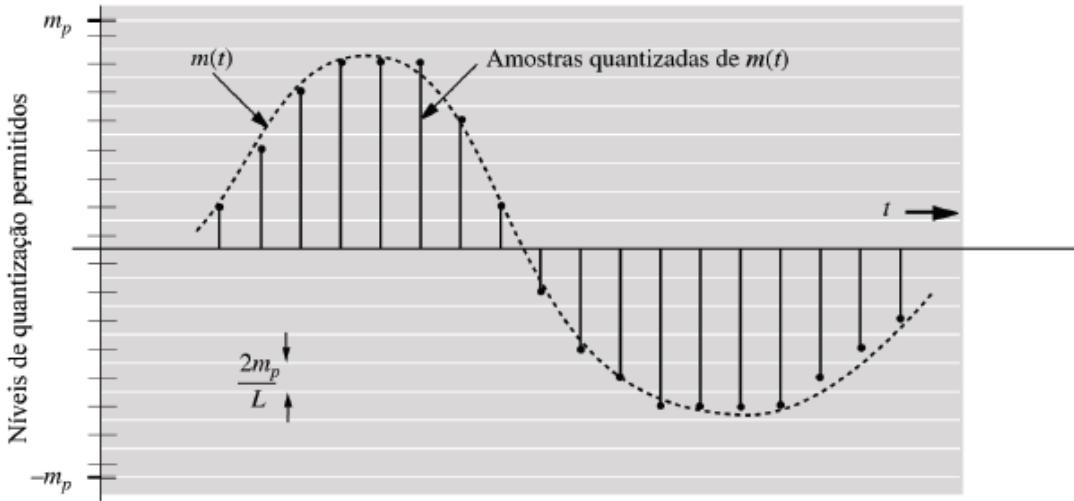


Figura 4.10 – Quantização de um sinal analógico amostrado [81].

Na Figura 4.10 observa-se que o intervalo de amplitude $(-m_p, m_p)$ é dividido em L intervalos uniformemente espaçados, cada um com largura $\Delta v = 2m_p/L$. Um valor de amostra é aproximado pelo valor no ponto médio do intervalo em que a amostra ocorre. As amostras quantizadas são codificadas e transmitidas como pulsos binários [81].

Ao combinar os processos de amostragem e quantização, a especificação de um sinal de mensagem (banda base) contínuo torna-se limitado a um conjunto discreto de valores, mas não na forma mais adequada à transmissão por uma linha telefônica ou canal de rádio. Afim de explorar as vantagens da amostragem e quantização para o propósito de tornar o sinal transmitido mais imune ao ruído, à interferências e a outras deteriorações de canal, é necessário utilizar o processo de codificação para transladar o conjunto discreto de valores da amostra para a forma mais adequada de sinal. Qualquer sequência que representar cada um desses conjuntos discretos de valores como um arranjo de eventos discretos denomina-se código. Um dos eventos discretos em um código é chamado elemento de código ou símbolo, ou seja, a presença ou ausência de um pulso é um símbolo. Um arranjo de símbolos usados em um código para representar um único valor do conjunto discreto denomina-se palavra-código ou caractere [82].

Em um código binário, cada símbolo pode ter presença ou ausência de um pulso, indicados por 0 e 1. A vantagem máxima com relação aos efeitos do ruído em um meio de transmissão é obtida usando-se um código binário, porque um símbolo binário suporta um nível relativamente elevado de ruído e é fácil regenerar.

4.4.2 Aplicação SDR

Utilizando o software GNU Radio foi construído fluxos gráficos para aplicar os conceitos apresentados sobre a amostragem, quantização e código de pulsos. Para obter a amostragem o diagrama da Figura 4.11 mostra o fluxograma construído no GRC.

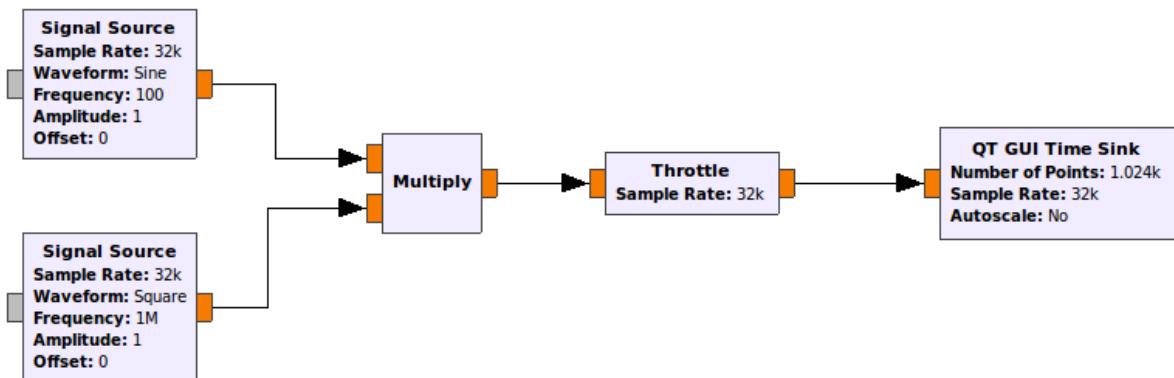


Figura 4.11 – Diagrama do GRC para gerar a amostragem [Autor].

Na Figura 4.11 tem-se dois blocos de fonte de sinal, *Signal Source*, o primeiro sendo uma senoide representando a mensagem e o segundo um gerador de trem de pulsos. Os dois sinais são multiplicados pelo bloco *Multiply* e o resultado é mostrado no osciloscópio virtual representado pelo bloco *QT GUI Time Sink*. O bloco *throttle* é usado sempre que o software for empregado como simulador para evitar congestionamento de memória. Os únicos parâmetros configurados para esse fluxo são as frequências das fontes e os tipos de sinais gerados.

O fluxograma da figura 4.12 efetua o processo de quantização da informação.

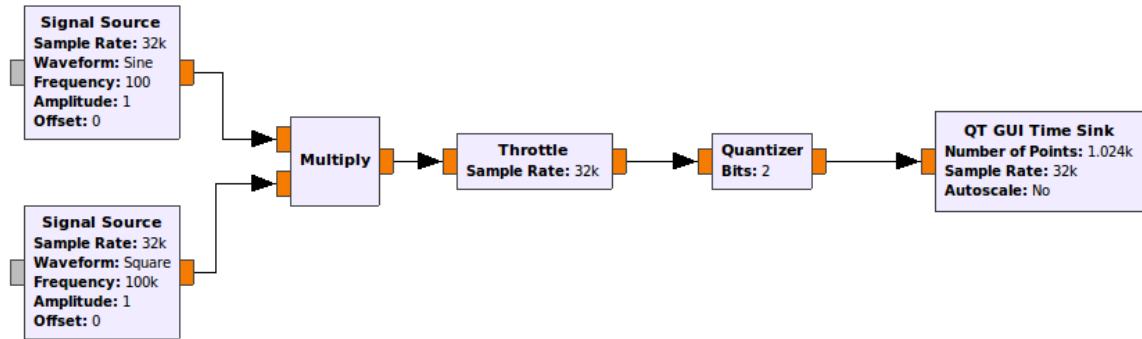


Figura 4.12 – Processo de quantização construído do GRC [Autor].

Na Figura 4.12 observa-se o fluxo da informação de amostragem entrando no bloco *Quantizer* esse bloco executa a quantização da informação de entrada uniformemente considerando o parâmetro de bits que pode ser modificado. Considerando 2 bits então teremos 4 níveis de quantização, pois o número de níveis é 2^b onde b é o número de bits.

O diagrama de blocos da Figura 4.13 mostra o fluxo de informações construído para uma codificação binária.

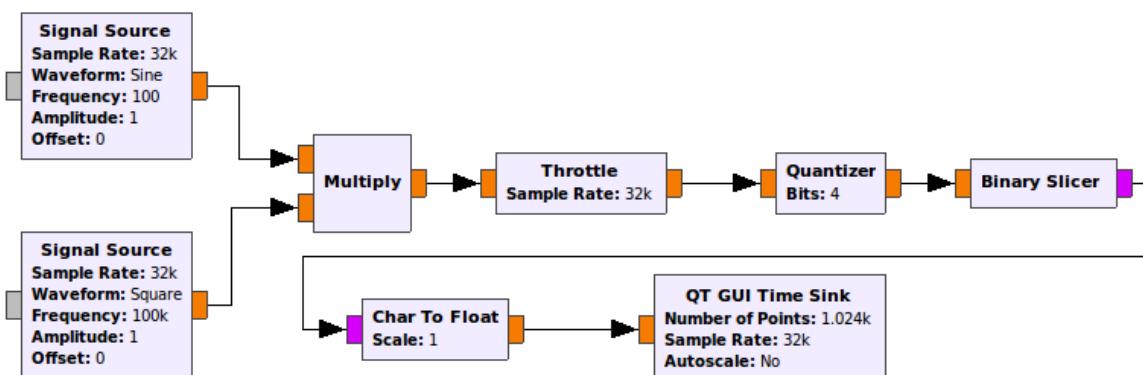


Figura 4.13 – Processo de codificação binária construído no GRC [Autor].

Na Figura 4.13 observa-se o fluxo de informações da amostragem e quantização entrando no bloco *Binary Slicer*, esse bloco codifica a informação binariamente com saída do tipo *char* e para se vista no osciloscópio virtual precisa ser convertida para o tipo *float*.

Os gráficos obtidos nos fluxogramas acima são mostrados no capítulo de resultados.

4.5 Considerações Finais Deste Capítulo

Este capítulo apresentou a aplicação das etapas do TBL em instalações elétricas com o desenvolvimento de um projeto final associando todos os conceitos anteriores, mostrou ainda a propostas de adaptação da etapa prática do TBL usando o SDR para um módulo da disciplinas de princípios de comunicação e outro módulo da disciplina de comunicações digitais .

O próximo capítulo apresenta os resultados obtidos nas práticas de SDR e compara com os resultados teóricos.

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho. Ele mostra os aspectos da aplicação do TBL na disciplina de instalações elétricas e apresenta a opinião dos alunos sobre o TBL. Para a proposta de utilização do TBL com o SDR, nas disciplinas de princípios de comunicação e comunicações digitais, este capítulo mostra os resultados gráficos obtidos com o GRC e relaciona com gráficos teóricos de cada passo do fluxo gráfico.

5.2 Análise do TBL em Instalações Elétricas

Após o primeiro semestre com a utilização do TBL na disciplina de instalações elétricas, algumas alterações no processo de aplicação da metodologia se mostrou necessária para alcançar com mais eficiência os objetivos de aprendizagem. Estas adaptações levam em consideração fatores como, quantidade de alunos em cada equipe e especificações mínima e máxima da planta baixa para desenvolvimento do projeto elétrico.

Durante o período de três anos que foi aplicado o TBL na disciplina de Instalações Elétricas, essas necessidades de adaptações foram consideradas e inseridas no processo de aprendizagem. Assim, atualmente as equipes são compostas com 4 alunos fixos durante todo o semestre, pois com um grupo menor o comprometimento do aluno com sua equipe é maior e consequentemente o aproveitamento e o interesse na disciplina aumentam.

As duas avaliações individuais são aplicadas, uma no meio e outra no final do semestre, essas avaliações individuais se mantém para atender requisitos do plano de curso. A primeira contempla o conteúdo dos módulos A, B e C e a segunda o conteúdo D, E e F. Essas avaliações são necessárias para compor 70% da nota do aluno ao final do curso, a nota atribuída aos testes do TBL representam apenas 20% da nota total distribuída e os outros 10% são para o projeto final.

O projeto final desenvolvido por cada equipe possui especificações mínima e máxima de área construída e quantidade de cômodos da planta baixa, para evitar tanto projetos minimalistas e projetos grandiosos. Este projeto é o resultado de todo o conteúdo trabalhado e a forma que os alunos têm de consolidar o esforço da equipe em assimilar e integrar as partes para desenvolver um projeto de instalação elétrica completa.

A verificação do aprendizado é realizada utilizando os registros de acesso e tempo de estudos por meio da plataforma virtual de aprendizado, relação de desempenho do iRAT e tRAT versus tempo de estudos registrado para cada aluno, avaliação de aprendizagem individual e bimestral e projeto final por equipe.

Com o intuito de subsidiar o grau de satisfação do estudante com relação a aplicação e eficácia do método, uma série de questões são feitas aos alunos com respeito a metodologia TBL aplicada na disciplina. A Tabela 2 mostra as questões e os resultados do questionário dos estudantes em cada semestre. Este questionário é feito desde o início da aplicação do TBL na disciplina e questões parecidas são referendadas no artigo [15].

Tabela 2 – Questionário dos estudantes por semestre

Semestre	Questão	Nº	% sim
2014-1	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	24	75 72 69 60
2014-2	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	39	80 77 85 77
2015-1	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	19	85 75 80 100
2015-2	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	33	88 90 100 88
2016-1	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	19	90 90 85 100
2016-2	1 – Você leva a preparação para os testes a sério? 2 – Você sente que seu interesse e curiosidade foram estimulados com o TBL? 3 – Você acha que as atividades propostas facilitam seu aprendizado? 4 – O TBL melhora o aprendizado nesta disciplina?	45	89 89 98 98

A Tabela 2 possui quatro colunas na qual a primeira identifica o semestre que houve aplicação do TBL, a segunda coluna mostra quais foram as questões formuladas para os alunos, a terceira mostra quantos alunos responderam ao questionário e a quarta coluna mostra o percentual de respostas sim.

A medida que a estrutura de aplicação do TBL foi se tornando mais consolidada, aliada ao entendimento dos alunos quanto as suas responsabilidades, então teve-se maior aceitação e aprovação do método como pode ser visto na Tabela 2.

As adaptações feitas ao longo deste período de três anos foram alicerçadas considerando as respostas apresentadas na Tabela 2 e o respaldo da aplicação do método é percebido em sala de aula, considerando o aumento do desempenho, o interesse do aluno, maior dedicação nas atividades de preparação comprovado pelos relatórios da plataforma virtual, melhoria nas atividades individual e de equipe entregues e o resultado das avaliações bimestrais.

Os alunos do curso de engenharia civil possuem dificuldades conceituais e desinteresse ao conteúdo do setor elétrico, assim o grande sucesso da aplicação dessa metodologia não é apenas o aprendizado efetivo dos conceitos e sim a motivação e interesse que os alunos demonstraram ao desenvolver os projetos elétricos com suas respectivas equipes.

O uso do TBL e as adaptações para a disciplina de instalações elétricas apresentou excelentes resultados de aprendizado dos alunos, proporcionando melhor fixação de conceitos e desenvolvendo habilidades de aplicações práticas. Essa constatação se dá tanto com resultados da disciplina quanto com a escolha do projeto a ser desenvolvido no final do curso. Pois os alunos de engenharia necessitam escolher 3 projetos para ser desenvolvido no trabalho conclusão de curso e uma quantidade significativa de alunos selecionam o projeto elétrico.

A partir dos resultados da Tabela 2 calculou-se o valor médio das respostas, assim observa-se que em 2014-1 obteve-se 69% de respostas ‘sim’, em 2014-2 foram 79,75%, em 2015-1 teve 85%, em 2015-2 foram 91,5%, em 2016-1 foram 91,25% e em 2016-2 teve 93,5%. Estas médias indicam de maneira geral a aprovação dos alunos sobre a metodologia adotada e as adaptações aplicadas ao longo dos semestres. Um gráfico de barras foi construído para melhor visualização, mostrado na Figura 5.1.

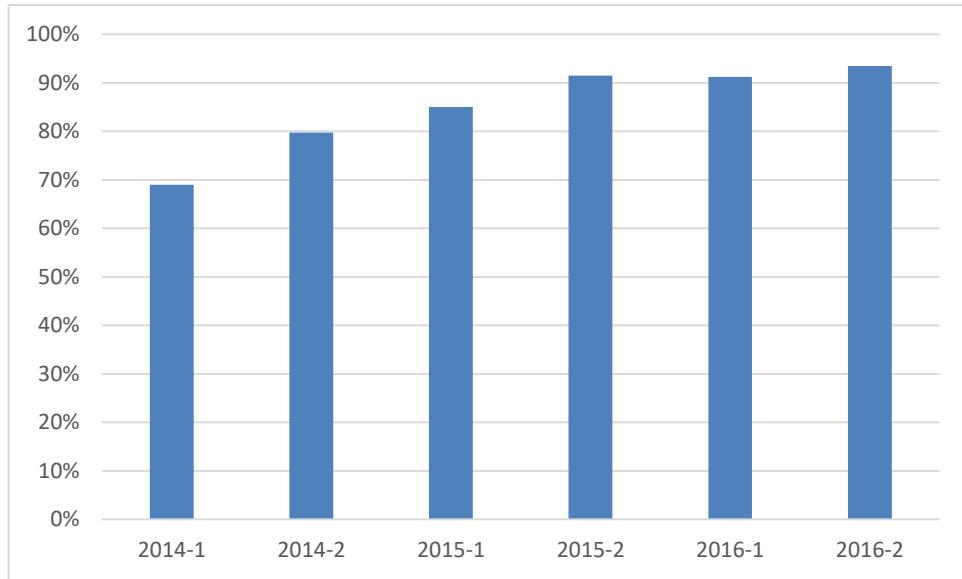


Figura 5.1 – Valor médio das respostas da Tabela 2 [Autor].

O próximo item apresenta os resultados dos testes do modulador e demodulador DSB-SC proposto para desenvolvimento da aplicação da etapa prática do TBL utilizando o SDR.

5.3 Modulador e Demodulador DSB-SC

Para o modulador DSB-SC foi simulado no GRC a mensagem $m(t)$ e a portadora, com duas senóides de frequências de 1 kHz e 10 kHz, respectivamente. A Figura 5.2 ilustra a mensagem e a portadora.

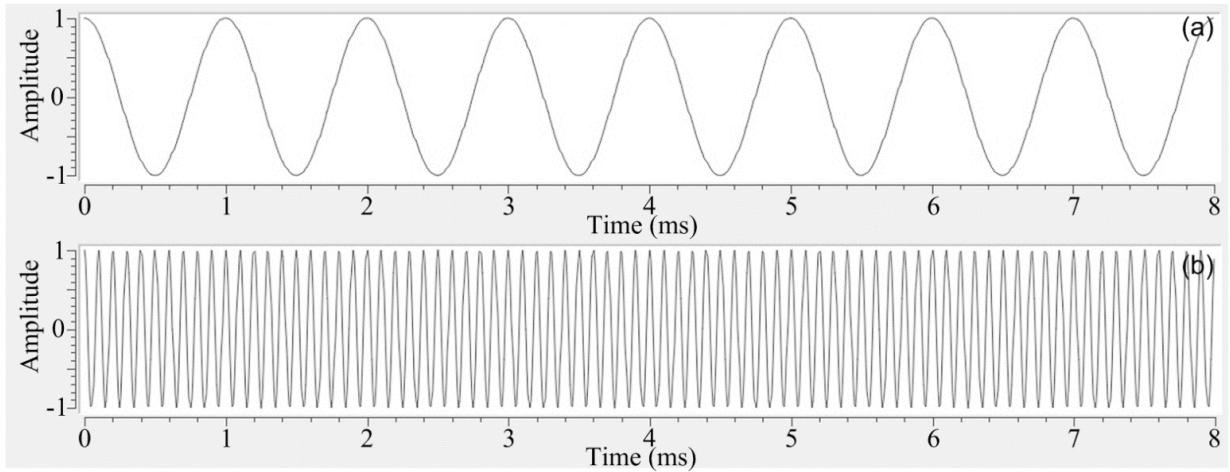


Figura 5.2 – (a) Mensagem $m(t)$; (b) Portadora [Autor].

A transformada de Fourier de $\text{sen}(2\pi f_0 t)$ é $j0,5[\partial(f + f_0) - \partial(f - f_0)]$. Na Figura 5.3 o resultado obtido pelo GRC é igual ao resultado analítico mostrado na Figura 4.2 (b) [81]. Porém, é mostrado a convolução da transformada do $\text{sen}(2\pi f_0 t)$ com a transformada da janela retangular, ou seja, esse software mostra o lóbulo principal da função $\frac{\text{sen}(2\pi f_0 t)}{2\pi f_0 t}$ na frequência $f_0 = 1\text{KHz}$ e dois lóbulos laterais acima e abaixo dessa frequência.

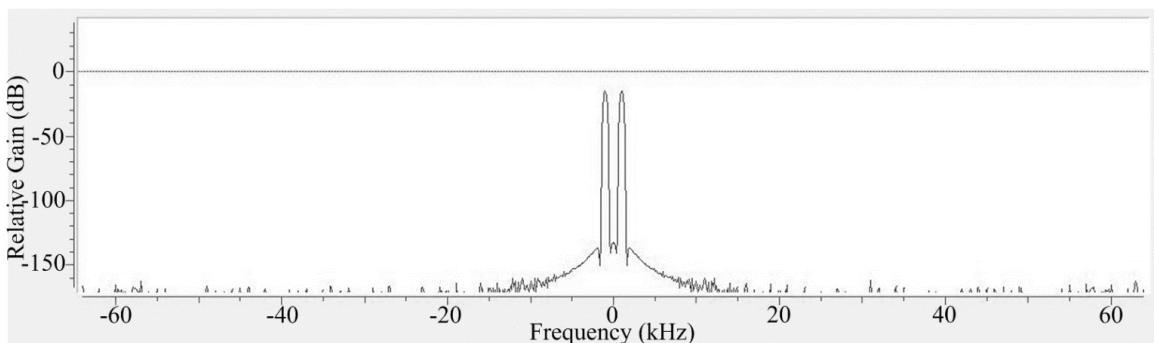


Figura 5.3 – FFT da mensagem $m(t)$ [Autor].

A Figura 5.4 mostra o sinal de saída do modulador, ou seja, o sinal modulado e o seu respectivo espectro em frequência com os picos da FFT em 9 kHz e 11 kHz.

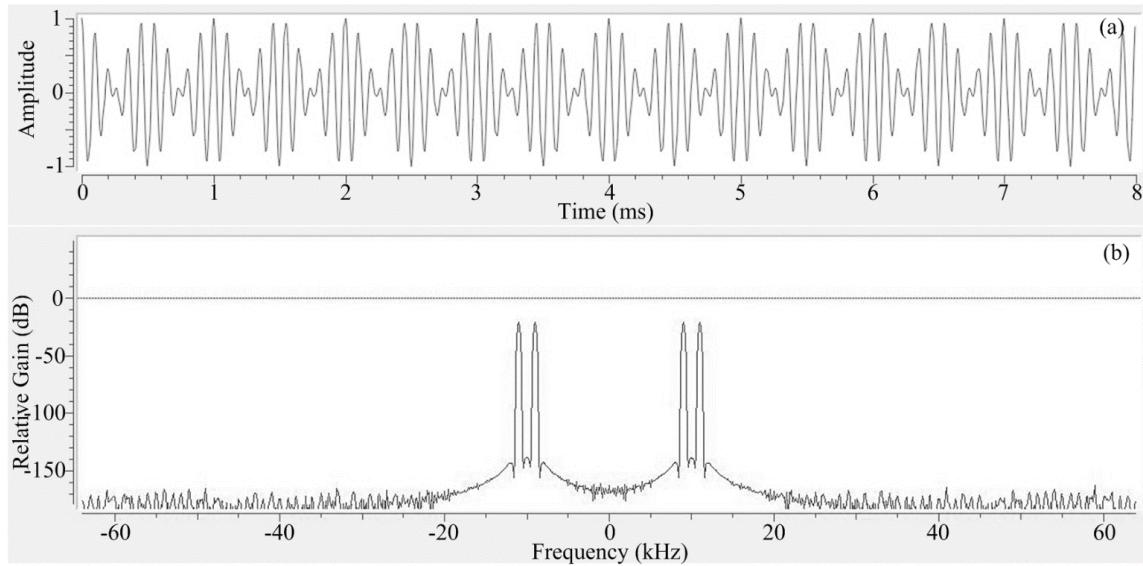


Figura 5.4 – (a) Sinal modulado e (b) FFT do sinal modulado [Autor].

Os resultados mostrados na Figura 5.4 obtidos pelo GRC podem ser relacionados com os resultados teóricos da Figura 4.3. Após o desenvolvimento application oriented activities do modulador DSB-SC pelos discente é proposto a eles a elaboração de um demodulador DSB-SC utilizando o conjunto SDR. A Figura 5.5 mostra o sinal de saída do fluxograma apresentado na Figura 4.6 criado no GRC.

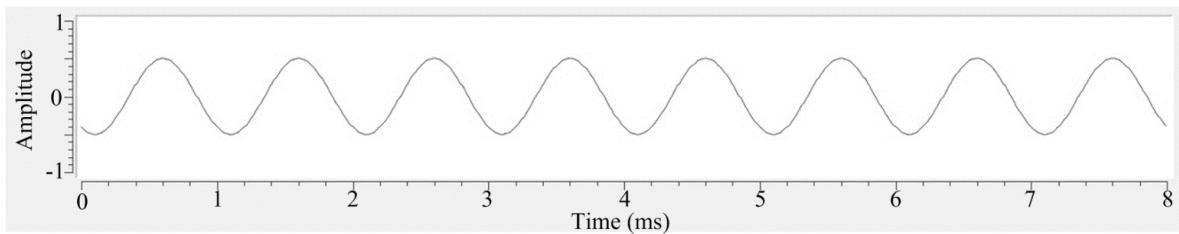


Figura 5.5 – Sinal demodulado [Autor].

Na Figura 5.5 pode ser observado que a amplitude do sinal é de 0.5 e a mensagem modulada possui amplitude de 1.0, a saída do filtro passa baixa da Figura 4.4 indica que o valor teórico é exatamente a metade do valor da amplitude da mensagem modulada. Para eliminar o inconveniente

fração $\frac{1}{2}$ na saída podemos usar a portadora $2\cos\omega_c t$ em vez de $\cos\omega_c t$ esse método de recuperação em banda base é denominado detecção síncrona ou detecção coerente [81].

5.4 Amostragem, quantização e codificação

Foi simulado no GRC um sinal de mensagem sendo uma senóide de 1 kHz mostrada na Figura 5.6. O espectro da mensagem é mostrado na Figura 5.7.

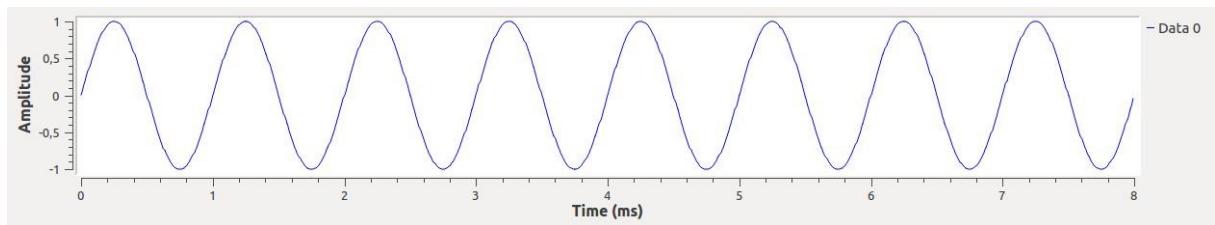


Figura 5.6 – Sinal senoidal de mensagem [Autor].

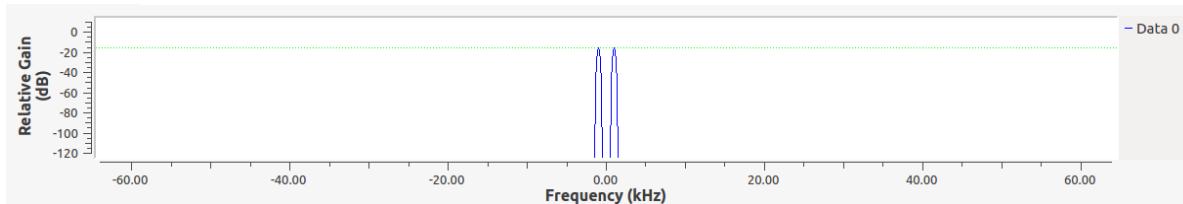


Figura 5.7 – Espectro FFT da mensagem [Autor].

O diagrama de blocos construído no GRC e mostrado na Figura 4.8 faz associação com o conteúdo teórico mostrado na Figura 4.7. O sinal de mensagem é multiplicado com um trem de pulsos mostrado na Figura 5.8.

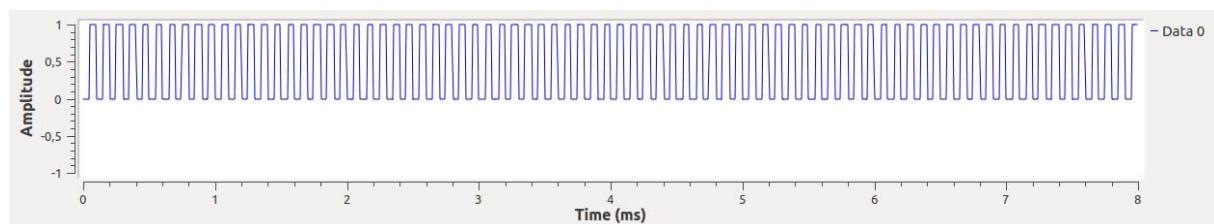


Figura 5.8 – Trem de pulsos gerado pelo GRC [Autor].

O resultado da multiplicação da mensagem com o trem de pulsos obtém-se o sinal amostrado apresentado pela Figura 5.9 e o espectro do sinal amostrado na Figura 5.10.

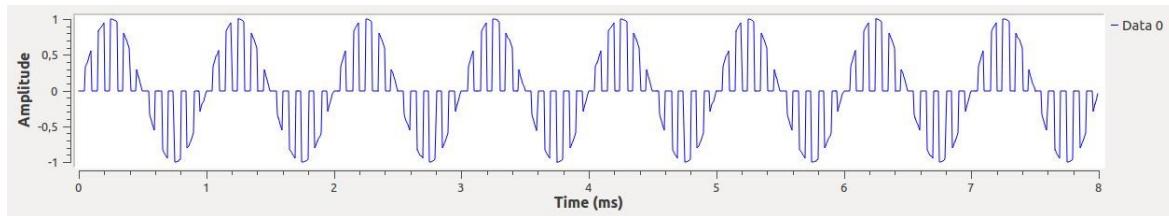


Figura 5.9 – Sinal amostrado gerado pelo GRC [Autor].

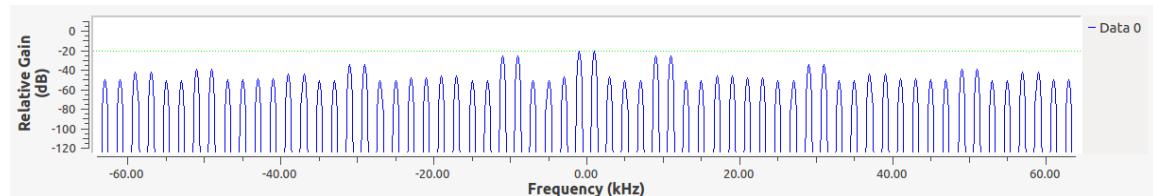


Figura 5.10 – Espectro FFT do sinal amostrado [Autor].

Os sinais gerados de mensagem e espectro FFT da mensagem e os sinais de amostragem e espectro FFT do sinal amostrado podem ser relacionados com os sinais teóricos e pode-se observar que os resultados obtidos com o software GRC são sinais com mesmas características dos sinais calculados teoricamente.

Para a prática de quantização foi utilizado um bloco oriundo do GRC que faz a quantização do sinal amostrado conforme parâmetro de quantidade de bits gerando níveis de quantização. As Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 mostra os resultados para 1 bit, 2 bits e 3 bits respectivamente.

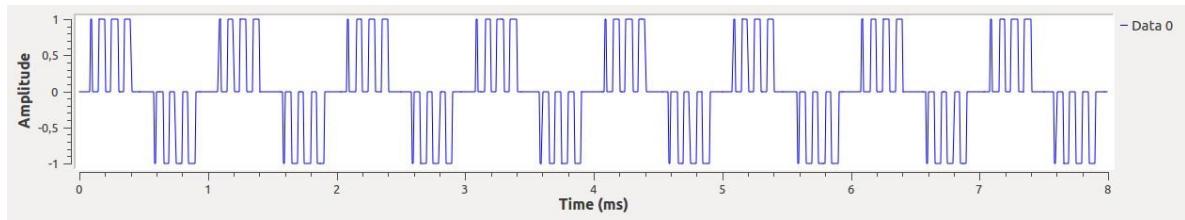


Figura 5.11 – Quantização com parâmetro de 1 bit [Autor].

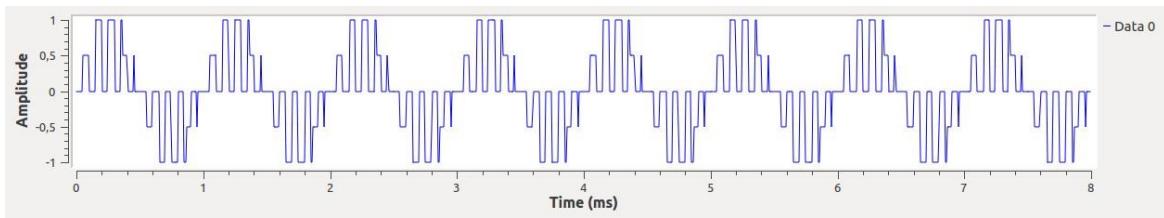


Figura 5.12 – Quantização com parâmetro de 2 bits [Autor].

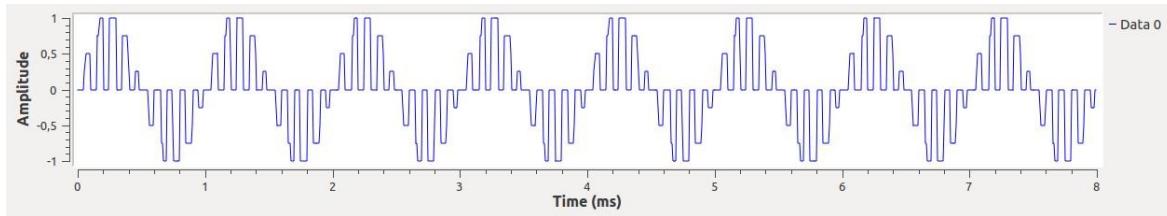


Figura 5.13 – Quantização com parâmetro de 3 bits [Autor].

O número de níveis de quantização é determinado pelo parâmetro de bits do bloco de quantização, esse bloco faz a quantização uniforme e o número de níveis é dado por 2^b onde b é o número de bits, ou seja, com 1 bit tem-se 2 níveis de quantização, 2 bits tem-se 4 níveis de quantização, 3 bits tem-se 8 níveis de quantização e assim por diante.

O último processo criado para a prática desse módulo foi mostrado no diagrama de blocos da Figura 4.13, que é o processo de codificação utilizando o bloco de codificação binária, outros blocos de codificação estão presentes no *core* do GNU Radio e podem ser utilizados e explorados. A Figura 5.14 ilustra a saída da codificação para quantização de 2 bits.

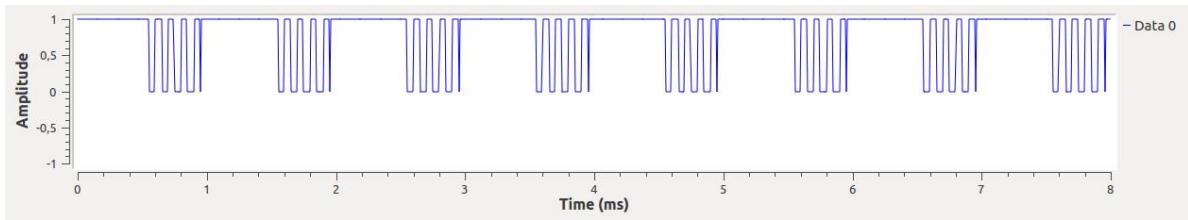


Figura 5.14 – Codificação binária obtido pelo GRC [Autor].

O resultado apresentado na Figura 5.14 mostra o processo final da codificação PCM. Esse sinal está pronto para ser transmitido no meio. A continuidade do processo de transmissão, recepção e reconstrução do sinal de mensagem podem ser explorados e praticados com o SDR.

5.5 Considerações Finais Deste Capítulo

Este capítulo mostrou os resultados obtidos com a aplicação das etapas do TBL em instalações elétricas, mostrou a validação do TBL usando questionários feitos com os alunos, além disso foi apresentado o resultado da etapa prática do TBL usando o SDR em um módulo das componentes curriculares de princípios de comunicação e comunicações digitais mostrando o resultado de cada bloco do fluxo gráfico construído no capítulo 4.

O próximo capítulo apresenta as conclusões e contribuições deste trabalho e os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Introdução

Este trabalho foi motivado pela necessidade de aplicações metodológicas, no ensino superior de engenharia de telecomunicações, para que os complexos conceitos teóricos fiquem alinhados às práticas desenvolvidas em laboratório, tal que, essas soluções sejam aplicáveis nas instituições de ensino no Brasil.

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar o conceito de metodologia ativa e mostrar como aplicar a sala de aula invertida com aprendizado baseado em equipes na engenharia elétrica e de telecomunicações. Para isso foi mostrado a aplicação do TBL na disciplina de instalações elétricas. Além disso este trabalho mostrou que o conjunto de rádio definido por software é uma solução de baixo custo, de fácil manipulação e muito eficiente para desenvolvimento de protótipos de engenharia de telecomunicações.

O objetivo específico deste trabalho foi apresentar uma proposta estrutural, para algumas componentes curriculares do curso de engenharia de telecomunicações, utilizando a abordagem de sala de aula invertida com a metodologia ativa de aprendizado baseado em equipes usando na etapa de aplicações prática o SDR, composto pelo USRP e o GNU Radio, para desenvolver soluções compreendidas em etapas teóricas da componente curricular.

Este capítulo apresenta as conclusões, em seguida são mencionadas as contribuições acadêmicas deste trabalho, e por fim são mostradas sugestões para os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir deste trabalho.

6.2 Conclusões

A necessidade de alternativas para se inovar na educação formal, afim de alcançar as competências de aprendizado exigidas no mercado de trabalho, foi o que motivou o desenvolvimento deste trabalho.

A construção desse trabalho foi embasada na união dos conceitos de sala de aula invertida, aprendizado baseado em equipes e rádio definido por software, assim, tornou-se possível a estruturação de conteúdos de engenharia de telecomunicações e ainda o desenvolvimento de aplicações práticas com equipamentos de baixo custo e altamente flexível.

Neste trabalho foi apresentado os conceitos de aprendizado ativo e quais as metodologias que podem ser usadas. Dentre as diversas metodologias ativas foi escolhido e mostrado como funciona a abordagem de sala de aula invertida e foi apresentado os fundamentos da metodologia ativa team based learning, foi descrito a sequência de atividades de preparação, garantia de preparação e aplicações conceituais. Para esta última etapa foi proposto utilizar o *software defined radio* para algumas disciplinas de engenharia de telecomunicações.

Foi apresentado o conceito de rádio definido por software, foi descrito especificações do *hardware* USRP1 e USRP N210 além disso foi mostrado os fundamentos do *software* GNU Radio. E ainda, apresentou-se, a aplicação do TBL na disciplina de instalações elétricas e a adaptação em módulos da estrutura de duas componentes curriculares, da engenharia de telecomunicações, para aplicações da etapa prática do TBL com auxílio do SDR. Os resultados dos desenvolvimentos práticos foram comparados com a teoria de cada componente curricular e foram discutidos no Capítulo 5 deste trabalho.

A aplicação do TBL na disciplina de instalações elétricas, possibilitou moldar a maneira que se utiliza a metodologia, e ainda, constatou a eficiência do uso do TBL a partir do envolvimento e interesse do aluno associado a dados de relatórios oriundo da plataforma virtual. No entanto, o que realmente deixou explícito o efetivo aprendizado da disciplina usando o método apresentado foi o projeto final completo de instalações elétricas proposto e desenvolvido pela equipe. A justificativa para esta afirmação se deve ao fato de que, em um projeto de instalações elétricas, para ser bem-sucedido existe a necessidade do domínio individual a cada etapa e a capacidade de poder utilizá-lo de forma integrada para o objetivo final.

A partir da aplicação do TBL mencionada acima se propôs a utilização dessa metodologia na engenharia de telecomunicações, associando a metodologia a práticas com o SDR. Todas as disciplinas do curso de engenharia elétrica e de telecomunicações podem ser estruturadas para aplicação do TBL e as disciplinas que envolvem análise, transmissão e recepção de qualquer sinal pode utilizar na etapa prática do TBL o conjunto SDR.

Essa pesquisa mostrou a viabilidade financeira para equipar laboratórios, das instituições de ensino superior, com o USRP e GNU Radio a um baixo custo, dispensando equipamentos dedicados como geradores de funções, osciloscópios, analisadores de espectro, moduladores e demoduladores dentre outros. O custo de um conjunto SDR que realiza as funções de todos os equipamentos mencionados acima é em torno de 10% do valor de custo de um analisador de espectro simples e que realiza a função apenas de análise espectral em determinadas faixas.

Foi descrita a proposta da aplicação da etapa prática do TBL para o curso de engenharia de telecomunicações, associando essa metodologia educacional com práticas de laboratório para desenvolvimento de protótipos que podem ser realizados pelos alunos, essas aplicações esclarecem o fluxo de informações dos complexos conceitos estudados e permite que o aluno visualize em tempo real o gráfico de cada etapa das aplicações práticas.

Todos os resultados gerados utilizando o GRC fazem parte da etapa de application of course concepts e podem ser desenvolvidos pelos alunos com a orientação do professor e em laboratório de aula. Com essa ferramenta os alunos podem selecionar o sinal de qualquer parte do fluxo da aplicação estudada e visualizar cada etapa comparando com resultados teóricos estudado no livro texto. A application oriented activities ocupa 70% do tempo do módulo e por ser feita em equipes e de forma interativa apresenta grande interesse dos alunos.

Assim, pode-se concluir que o TBL e o SDR, para o curso de engenharia elétrica e de telecomunicações, proporcionam uma melhor elucidação dos conceitos teóricos, possibilitando atingir os objetivos educacionais no que se refere a construção do conhecimento, o aprimoramento das habilidades e das atitudes dos discentes de maneira mais eficiente do que o método tradicional, além de favorecer o desenvolvimento de protótipos e aplicações práticas próximas as encontradas no mercado de trabalho.

6.3 Contribuição Deste Trabalho

A aplicação de metodologias ativas nos cursos de engenharia é crescente. A utilização de sala de aula invertida e o TBL possibilita que uma etapa do aprendizado seja feita com elucidações práticas, e a ferramenta mais adequada para ser usado em laboratórios é o SDR. Pois, nenhum equipamento se mostrou tão eficiente e flexível para a compreensão das diversas teorias de telecomunicações. Este trabalho apresentou como aplicar o TBL na engenharia de telecomunicações e mostrou a facilidade do uso do SDR na etapa prática enfatizando o quão flexível e prático é esse recurso. Este trabalho buscou contribuir com a construção de aplicações para fim didático.

6.4 Trabalhos Futuros

A partir deste trabalho, podem ser estruturados todas as componentes curriculares da engenharia elétrica e de telecomunicações para a aplicação do TBL com as práticas desenvolvidas no SDR. Para citar as complexas teorias que podem ser elucidadas com protótipos no SDR envolve moduladores e demoduladores QAM, DPSK, GMSK, OFDM dentre outros, o GNU Radio ainda permite análises da constelação do sinal, construção do diagrama do olho, análise de sinais com ruídos e influência de filtros. Podem ser aplicadas diversos analisadores e codificadores nos sinais da fala como vocoderes, analisadores para sinais de TV digital, construção de estações rádio base das diversas gerações de comunicações móveis, dentre outros. Para cada aplicação a seleção do tipo de sinal real a ser capturado na entrada depende apenas da escolha adequada da placa filha do USRP.

O GNU Radio possui uma grande biblioteca para análise e processamento de sinais de telecomunicações, mas por ser um recurso *open source* pode ser construído blocos adicionais se necessário, além disso o SDR não está limitado a sinais de telecomunicações, ele é um equipamento que pode ser utilizado com qualquer tipo de sinal que se queira analisar e processar, por exemplo sinais biológicos, sinais elétricos de equipamentos diversos isso possibilita que esses mesmos recursos podem ser usados em outros cursos de engenharia.

Para um trabalho futuro será feito o levantamento da perspectiva dos alunos, a taxa de aprovação e a relação de desempenho com tempo de estudo, fora da sala de aula, de cada aluno. Esse tempo de estudo pode ser medido com ferramentas educacionais como Moodle, BlackBoard dentre outros.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Morán, J. Mudando a Educação com metodologias ativas. Disponível em <http://rh.unis.edu.br/wp-content/uploads/sites/67/2016/06/Mudando-a-Educacao-com-Metodologias-Ativas.pdf> acessado em 18 de setembro de 2018.
- [2] Center for Research on Learning and Teaching, **Arthur F. Thurnau Professors/ Engaging Students in the Classroom and Beyond.** Disponível em <http://crlt.umich.edu/arthur-f-thurnau-professors-engaging-students-classroom-and-beyond> acessado em 22 de setembro de 2018.
- [3] Carl Wieman Science Education Initiative at the University of British Columbia, **Evidence-Based Science Education in Action.** Disponível em http://www.cwsei.ubc.ca/resources/SEI_video.html acessado em 22 de setembro de 2018.
- [4] Freeman, S., Eddy, SL, McDonough, M., Smith, MK, Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, MP. **Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics.** Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (23) 8410-8415. 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [5] Owens, D., Sadler, T., Barlow, A., & Smith-Walters, C. **Student Motivation from and Resistance to Active Learning Rooted in Essential Science Practices.** Research in Science Education. 2017. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9688-1>
- [6] Shekar A. **Active learning and reflection in product development engineering education,** European Journal of Engineering Education, 32:2, 125-133, 2007. <https://doi.org/10.1080/03043790601118705>
- [7] Fink, F. K. **Integration of engineering practice into curriculum-25 years of experience with problem based learning,** FIE'99 Frontiers in Education. 29th Annual Frontiers in Education Conference. Designing the Future of Science and Engineering Education. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.99CH37011, San Juan, Puerto Rico, USA, 1999, pp. 11A2/7-11A212 vol.1.

[8] Mitchell, J. E. Canavan B. and Smith, J. **Problem-Based Learning in Communication Systems: Student Perceptions and Achievement**, in IEEE Transactions on Education, vol. 53, no. 4, pp. 587-594, Nov. 2010. <https://doi.org/10.1109/TE.2009.2036158>

[9] Said, S. M., Mahamd Adikan, F. R., Mekhilef S., and Abd Rahim N. **Implementation of the problem-based learning approach in the Department of Electrical Engineering**, University of Malaya, European Journal of Engineering Education, 30:1, 129-136. 2005. <https://doi.org/10.1080/03043790512331313895>

[10] Camargo, L. R. **Electrical Engineering Students Evaluate Problem-Based Learning (PBL)**. International Journal of Electrical Engineering & Education, 45(2), 152–161. 2008. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.45.2.7>

[11] Martinez, F. Herrero L. C. and Pablo, S. **Project-Based Learning and Rubrics in the Teaching of Power Supplies and Photovoltaic Electricity**, in IEEE Transactions on Education, vol. 54, no. 1, pp. 87-96, Feb. 2011. <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2044506>

[12] Hosseinzadeh N. and Hesamzadeh M. R. **Application of Project-Based Learning (PBL) to the Teaching of Electrical Power Systems Engineering**, in IEEE Transactions on Education, vol. 55, no. 4, pp. 495-501, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1109/TE.2012.2191588>

[13] Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D. and Leifer, L. J., **Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning**. Journal of Engineering Education, 94: 103-120, Jan. 2013. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>

[14] Hosseinzadeh, N. Hesamzadeh M. and Senini, S. **A curriculum for electrical power engineering based on project based learning philosophy**, in IEEE International Conference on Industrial Technology, Gippsland, VIC, 2009, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2009.4939715>

[15] O'Connell, R. M. **Adapting Team-Based Learning for Application in the Basic Electric Circuit Theory Sequence**, in IEEE Transactions on Education, vol. 58, no. 2, pp. 90-97, May 2015. <https://doi.org/10.1109/TE.2014.2329650>

- [16] Michaelsen, L. K. and Sweet, M., **The essential elements of team-based learning**. New Directions for Teaching and Learning, 2008: 7-27. <https://doi.org/10.1002/tl.330>
- [17] Elnagar A. and Ali, M. S. **Survey of Student Perceptions of a Modified Team Based Learning Approach on an Information Technology Course**, Palestinian International Conference on Information and Communication Technology, Gaza, 2013, pp. 22-27. <https://doi.org/10.1109/PICICT.2013.14>
- [18] Demetry, C. **Work in progress — An innovation merging “classroom flip” and team-based learning**, IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Washington, DC, 2010, pp. T1E-1-T1E-2.
- [19] Murzi, H. and Carrero, O. P. **Impact of team-based learning on promoting creative thinking in undergraduate engineering students**, IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings, Madrid, 2014, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/FIE.2014.7044370>
- [20] Matalonga, S. Mousqués G. and Bia, A. **Deploying Team-Based Learning at Undergraduate Software Engineering Courses**, IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Curricula for Millennials (SECM), Buenos Aires, 2017, pp. 9-15. <https://doi.org/10.1109/SECM.2017.2>
- [21] Battur, S. et al., **Enhancing the Students Project with Team Based Learning Approach: A Case Study**, IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE), Madurai, 2016, pp. 275-280. <https://doi.org/10.1109/MITE.2016.061>
- [22] Cabrera, I. Villalon J. and Chavez, J. **Blending Communities and Team-Based Learning in a Programming Course**, in IEEE Transactions on Education, vol. 60, no. 4, pp. 288-295, Nov. 2017. <https://doi.org/10.1109/TE.2017.2698467>
- [23] Makalew, B. A. and Pardamean B., **Team based learning in computer science students**, 3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSI Tech), Bandung, 2017, pp. 296-301. <https://doi.org/10.1109/ICSI Tech.2017.8257128>

- [24] Awatramani, M. and Rover, D. **Team-based learning course design and assessment in computer engineering**, IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), El Paso, TX, 2015, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344227>
- [25] Hilborn, R. B. **Team learning for engineering students**, in IEEE Transactions on Education, vol. 37, no. 2, pp. 207-211, May 1994. <https://doi.org/10.1109/13.284996>
- [26] Xiong, X. Wu, T. Long H. and Zheng, K. **Implementation and performance evaluation of LECIM for 5G M2M applications with SDR**, IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Austin, TX, 2014, pp. 612-617. <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2014.7063500>
- [27] Zitouni, R. and Ataman, S. **An empirical model of the SBX daughter board output power driven by USRP N210 and GNU radio based software defined radio**, IEEE 12th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD15), Mahdia, 2015, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/SSD.2015.7348129>
- [28] Zitouni, R. Ataman, S. and George, L. **RF Measurements of the RFX 900 and RFX 2400 Daughter Boards with the USRP N210 Driven by the GNU Radio Software**, International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, Beijing, 2013, pp. 490-494. <https://doi.org/10.1109/CyberC.2013.90>
- [29] Supriyatno, B. I. Hidayat, T. Susksmono, A. B. and Munir, A. **Development of radio telescope receiver based on GNU radio and USRP**, 1st International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Manado, 2015, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICWT.2015.7449244>
- [30] Llames, G. J. M. and Banacia, A. S. **Spectrum sensing system in software-defined radio for determining spectrum availability**, International Conference on Electronics, Information, and Communications (ICEIC), Da Nang, 2016, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ELINFOCOM.2016.7562961>
- [31] Arief Marwanto, Mohd Adib Sarijari, Norsheila Fisal, Sharifah Kamilah Syed Yusof and Rashid, R. A. **Experimental study of OFDM implementation utilizing GNU Radio and USRP -**

SDR, IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC), Kuala Lumpur, 2009, pp. 132-135. <https://doi.org/10.1109/MICC.2009.5431480>

[32] Chaorui Zhang, Peng Xie, Deyuan Li, Jiekai Zhang and Rong Yu, **Wireless home gateway: Software-defined radio architecture and applications**, IET International Conference on Communication Technology and Application (ICCTA 2011), Beijing, 2011, pp. 346-350. <https://doi.org/10.1049/cp.2011.0688>

[33] Muslimin, J. Asnawi, A. L. Ismail, A. F. and Jusoh, A. Z. **SDR-Based Transceiver of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio**, International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), Kuala Lumpur, 2016, pp. 449-453. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.100>

[34] Abirami, M. Hariharan, V. Sruthi, M. B. Gandhiraj, R. and Soman, K. P. **Exploiting GNU radio and USRP: An economical test bed for real time communication systems**, Fourth International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), Tiruchengode, 2013, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2013.6726630>

[35] Ferreira, P. V. Diniz, P. Veiga, A. and Carneiro, M. **Frequency Response Acquisition of a Digital Radio Transceiver Using USRP Module and GNU Radio Software**, Fourth International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, Kuantan, 2012, pp. 243-248. <https://doi.org/10.1109/CIMSim.2012.25>

[36] Dobre, E. Marțian, A. and Vlădeanu, C. **USRP-based experimental platform for energy detection in cognitive radio systems**, International Conference on Communications (COMM), Bucharest, 2016, pp. 185-188. <https://doi.org/10.1109/ICComm.2016.7528275>

[37] Vajdic, S. and Jiang, F. **A hands-on approach to the teaching of electronic communications using GNU radio companion and the universal software radio peripheral**, IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, 2016, pp. 19-21. <https://doi.org/10.1109/ISECon.2016.7457529>

- [38] Reis, A. L. G. Selva, A. F. B. Lenzi, K. G. Barbin S. E. and Meloni, L. G. P. **Software defined radio on digital communications: A new teaching tool**, WAMICON 2012 IEEE Wireless & Microwave Technology Conference, Cocoa Beach, FL, 2012, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1109/WAMICON.2012.6208436>
- [39] Otieno, W. Cook, M. and Campbell-Kyureghyan, N. **Novel approach to bridge the gaps of industrial and manufacturing engineering education: A case study of the connected enterprise concepts**, IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Indianapolis, IN, 2017, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/FIE.2017.8190569>
- [40] Wyglinski, A. M. Orofino, D. P. Ettus, M. N. and Rondeau, T. W. **Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education**, in IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 1, pp. 68-75, January 2016. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7378428>
- [41] Welch, T. B. and Shearman, S. **Teaching software defined radio using the USRP and LabVIEW**, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Kyoto, 2012, pp. 2789-2792. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2012.6288496>
- [42] Aguayo Gonzalez C. R. et al., **Open-source SCA-based core framework and rapid development tools enable software-defined radio education and research**, in IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 10, pp. 48-55, October 2009. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2009.5273808>
- [43] Bonwell CC and Eison JA, **Active learning: Creating excitement in classroom**. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1. Washington, D.C.1991.
- [44] Felder RM and Brent R, **Active learning: An introduction**. ASQ Higher Education Brief, 2(4), 2009.
- [45] Center for Educational Innovation, **Active learning**. Disponível em <https://cei.umn.edu/active-learning> acessado em 18 de setembro de 2018.

[46] Bonwell, C.C. **Enhancing the lecture: Revitalizing a traditional format.** In T.E. Sutherland, C.C. & Bonwell (Eds.), Using active learning in college classes: A range of options for faculty. (pp.31-44). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.1996.

<https://doi.org/10.1002/tl.37219966706>

[47] Felder, R.M., & Brent, R. **Cooperative learning in technical courses: Procedures, pitfalls, and payoffs.** National Science Foundation, Washington, DC. 1994.

[48] McKeachie, W.J. (2005). How to make lectures more effective. In Teaching tips: Strategies, research, and theory for college and university teachers (11th ed.) (pp. 52-68). New York: Houghton Mifflin Co.

[49] Prince, M. **Does Active Learning Work? A Review of the Research.** Journal of Engineering Education 93 (3) 223-231. 2004. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>

[50] Lang J. M. **Small Teaching.** Jossey-Bass Publishers. San Francisco, 2016.

[51] Angelo, T. A. and Cross, K. P. **Classroom Assessment Techniques: A Handbook for College Teachers.** Jossey-Bass Publishers. Ed 2nd. San Francisco, 1993.

[52] Bergmann, J. and Sams, A. **Sala de Aula Invertida: Uma metodologia Ativa de Aprendizagem.** LTC, Rio de Janeiro, 2016.

[53] **Desafios da Educação.** Disponível em <https://desafiosdaeducacao.com.br/3-metodologias-para-apostar-em-2018/> acessado em 24 de setembro de 2018.

[54] Crouch, C. H., & Mazur, E. **Peer instruction: Ten years of experience and results.** *American Journal of Physics*, 69, 970. 2001. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>

[55] Deslauriers L, Schelew E, Wieman C. **Improved learning in a large-enrollment physics class.** *Science*, 332, 862-864. 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1201783>

[56] **Sala de aula Invertida:** Uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem. Disponível em

https://nte.ufsm.br/images/PDF_Capacitacao/2016/RECURSO_EDUCACIONAL/Material_Didatico_Instrucional_Sala_de_Aula_Invertida.pdf acessado em 24 de setembro de 2018.

[57] **Flip Learning: What is Flipped Learning.** Disponível em <https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/> acessado em 24 de setembro de 2018.

[58] Sibley J. and Ostafichuk P. **Getting Started with Team-Based Learning.** Stylus publishing, Sterling, Virginia, 2014.

[59] **Team Based Learning Collaborative.** Disponível em <http://www.teambasedlearning.org/definition/>. Acessado em 12 de outubro de 2018.

[60] Michaelsen L, Sweet M and Parmalee D, **Team-Based Learning: Small Group Learning's Next Big Step**, Jossey-Bass, San Francisco, 2009.

[61] Lima A. G. M. **Rádio Definido por Software: O Próximo Salto no Mundo das Telecomunicações e Computação.** Revista Digital Online, 2004.

[62] Jeffrey H. Reed. **Software Radio - A Modern Approach to Radio Engineering.** Prentice Hall, 2002.

[63] D. Valerio. **Open source software-defined radio: A survey on gnu-radio and its applications.** Forschungszentrum Telekommunikation Wien, Vienna, Technical Report FTW-TR-2008-002, 2008.

[64] D.C. Tucker and G.A. Tagliarini. **Prototyping with gnu radio and the usrp-where to begin.** In Southeastcon, 2009. SOUTHEASTCON'09. IEEE, pages 50-54. IEEE, 2009.
<https://doi.org/10.1109/SECON.2009.5174048>

[65] Ettus Research, “**Support: Downloads**” disponível em <http://ettus.com/support/downloads>. Acessado em 16 de Outubro de 2018.

[66] Hamza, F. A. **The USRP Under 1.5X MagnifyingLens!** GNURADIO Community, 2008.

- [67] Ettus Research, **USRP1 Bus Series.** Disponível em https://www.ettus.com/content/files/06983_Ettus_USRP1_DS_Flyer_HR.pdf. Acessado em 16 de Outubro de 2018.
- [68] Ettus Research, **USRP N210.** Disponível em https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf. Acessado em 16 de outubro de 2018.
- [69] Ettus Research, **Selecting an RF Daughterboard.** Disponível em https://kb.ettus.com>Selecting_an_RF_Daughterboard. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [70] Ettus Research, **BasicTX Daughterboard 1-250 MHz Tx.** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/BasicTX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [71] Ettus Research, **BasicRX Daughterboard 1-250 MHz Rx.** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/BasicRX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [72] Ettus Research, **LFTX Daughterboard 0-30 MHz Tx.** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/LFTX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [73] Ettus Research, **LFRX Daughterboard 0-30 MHz Rx.** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/LFRX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [74] Ettus Research, **WBX 50-2200 MHz Rx/Tx (40 MHz).** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/WBX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [75] Ettus Research, **SBX 400-4400 MHz Rx/Tx (40 MHz).** Disponível em <https://www.ettus.com/product/details/SBX>. Acessado em 17 de outubro de 2018.
- [76] GNU Radio, **Main page.** Disponível em https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page. Acessado em 22 de outubro de 2018.
- [77] Ettus Research, **GNU Radio.** Disponível em <https://www.ettus.com/sdr-software/detail/gnu-radio>. Acessado em 22 de outubro de 2018.

[78] Blossom, E. “*Exploring GNU Radio*” disponível em https://www.gnuradio.org/doc/doxygen/page_exploring_gnuradio.html. Acessado em 23 de outubro de 2018.

[79] Diniz, P. C. A. **Utilização de Rádio definido por Software para Análises de Sinais Aplicados ao Ensino em Engenharia.** Dissertação, 2013.

[80] Almeida, M. E. B. e Valente, J. A. **Integração Currículo e Tecnologias e a Produção de Narrativas Digitais.** Currículo sem Fronteiras, v. 12, n. 3, p. 57-82, 2012.

[81] Lathi BP and Ding Z, **Modern Digital and Analog Communication Systems**, 4rd ed. New York. Oxford University Press, 2010.

[82] Simon Haykin. **Sistemas de Comunicação – Analógico e Digital** 4^a Ed. Bookman. São Paulo, 2004.

[83] Oppenheim A. V. **Sinais e Sistemas**, 2^a Ed. Pearson Education do Brasil. São Paulo, 2010.

ANEXO I

Conteúdo teórico – Para etapa de Preparação – Módulo – Previsão de cargas

ABNT NBR 5410:2004

4.2.1.2.1 Geral:

- a) a carga a considerar para um equipamento de utilização é a potência nominal por ele absorvida, dada pelo fabricante ou calculada a partir da tensão nominal, da corrente nominal e do fator de potência;
- b) nos casos em que for dada a potência nominal fornecida pelo equipamento (potência de saída), e não a absorvida, devem ser considerados o rendimento e o fator de potência.

4.2.1.2.2 Iluminação:

- a) as cargas de iluminação devem ser determinadas como resultado da aplicação da ABNT NBR 5413;
- b) para os aparelhos fixos de iluminação a descarga, a potência nominal a ser considerada deve incluir a potência das lâmpadas, as perdas e o fator de potência dos equipamentos auxiliares.

NOTA Em 9.5.2.1 são fixados critérios mínimos para pontos de iluminação em locais de habitação.

4.2.1.2.3 Pontos de tomada:

- a) em locais de habitação, os pontos de tomada devem ser determinados e dimensionados de acordo com 9.5.2.2;
- b) em halls de serviço, salas de manutenção e salas de equipamentos, tais como casas de máquinas, salas de bombas, barriletes e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada de uso geral. Aos circuitos terminais respectivos deve ser atribuída uma potência de no mínimo 1000 VA;
- c) quando um ponto de tomada for previsto para uso específico, deve ser a ele atribuída uma potência igual à potência nominal do equipamento a ser alimentado ou à soma das potências nominais dos equipamentos a serem alimentados. Quando valores precisos não forem conhecidos, a potência atribuída ao ponto de tomada deve seguir um dos dois seguintes critérios:
 - potência ou soma das potências dos equipamentos mais potentes que o ponto pode vir a alimentar, ou
 - potência calculada com base na corrente de projeto e na tensão do circuito respectivo;
- d) os pontos de tomada de uso específico devem ser localizados no máximo a 1,5 m do ponto previsto para a localização do equipamento a ser alimentado;
- e) os pontos de tomada destinados a alimentar mais de um equipamento devem ser providos com a quantidade adequada de tomadas.

4.2.2 Esquema de distribuição

O esquema de distribuição pode ser classificado de acordo com os seguintes critérios:

- a) esquema de condutores vivos;
- b) esquema de aterramento.

4.2.2.1 Esquema de condutores vivos

São considerados os seguintes esquemas de condutores vivos:

- a) corrente alternada:
 - monofásico a dois condutores;
 - monofásico a três condutores;

9.5.2 Previsão de carga

9.5.2.1 Iluminação

9.5.2.1.1 Em cada cômodo ou dependência deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, comandado por interruptor.

NOTAS

1 Nas acomodações de hotéis, motéis e similares pode-se substituir o ponto de luz fixo no teto por tomada de corrente, com potência mínima de 100 VA, comandada por interruptor de parede.

2 Admite-se que o ponto de luz fixo no teto seja substituído por ponto na parede em espaços sob escada, depósitos, despensas, lavabos e varandas, desde que de pequenas dimensões e onde a colocação do ponto no teto seja de difícil execução ou não conveniente.

3 Sobre interruptores para uso doméstico e análogo, ver ABNT NBR 6527.

9.5.2.1.2 Na determinação das cargas de iluminação, como alternativa à aplicação da ABNT NBR 5413, conforme prescrito na alínea a) de 4.2.1.2.2, pode ser adotado o seguinte critério:

- a) em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- b) em cômodo ou dependências com área superior a 6 m^2 , deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

NOTA Os valores apurados correspondem à potência destinada a iluminação para efeito de dimensionamento dos circuitos, e não necessariamente à potência nominal das lâmpadas.

9.5.2.2 Pontos de tomada

9.5.2.2.1 Número de pontos de tomada

O número de pontos de tomada deve ser determinado em função da destinação do local e dos equipamentos elétricos que podem ser aí utilizados, observando-se no mínimo os seguintes critérios:

- a) em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendidas as restrições de 9.1;
- b) em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, sendo que acima da bancada da pia devem ser previstas no mínimo duas tomadas de corrente, no mesmo ponto ou em pontos distintos;
- c) em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada;

NOTA Admite-se que o ponto de tomada não seja instalado na própria varanda, mas próximo ao seu acesso, quando a varanda, por razões construtivas, não comportar o ponto de tomada, quando sua área for inferior a 2 m² ou, ainda, quando sua profundidade for inferior a 0,80 m.

- d) em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;

NOTA Particularmente no caso de salas de estar, deve-se atentar para a possibilidade de que um ponto de tomada venha a ser usado para alimentação de mais de um equipamento, sendo recomendável equipá-lo, portanto, com a quantidade de tomadas julgada adequada.

- e) em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:

- um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m². Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo de sua porta de acesso;
- um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m² e igual ou inferior a 6 m²;
- um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m², devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

9.5.2.2.2 Potências atribuíveis aos pontos de tomada

A potência a ser atribuída a cada ponto de tomada é função dos equipamentos que ele poderá vir a alimentar e não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos:

- a) em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente. Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;
- b) nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por ponto de tomada.

9.5.2.3 Aquecimento elétrico de água

A conexão do aquecedor elétrico de água ao ponto de utilização deve ser direta, sem uso de tomada de corrente.

Testes – Para etapa de Garantia de Preparação

Questão 1 – De acordo com a NBR 5410 para determinar a carga mínima para um ponto de iluminação e a quantidade mínima de pontos de tomadas de uso geral é analisado respectivamente:

- a) Perímetro (fração) e área (inteiro)
- b) Área (fração) e perímetro (inteiro)
- c) Área (inteiro) e área (fração)
- d) Perímetro (inteiro) e perímetro (fração)
- e) Área (inteiro) e perímetro (fração)

Questão 2 – Para um cômodo de 12 m² qual a carga mínima prevista para o ponto de iluminação de acordo com a NBR1054?

- a) 60 VA
- b) 100 VA
- c) 140 VA
- d) 160 VA
- e) 220 VA

Questão 3 – De acordo com NBR5410 determinar a quantidade mínima de pontos de tomadas de uso geral e a carga total dessas tomadas para uma cozinha de 15 m².

- a) 3 TUG e 1800 VA
- b) 4 TUG e 1900 VA
- c) 5 TUG e 2000 VA
- d) 4 TUG e 2400 VA
- e) 5 TUG e 3000 VA

Modelo de folha de resposta para iRAT

Modelo de raspadinha para o tRAT

Após a etapa de testes é solicitado que os alunos, em equipe, façam o levantamento do quadro de cargas da planta baixa que cada equipe criou no módulo A do curso, preenchendo o quadro abaixo.