



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GIOVANNI LAURINDO DE MOURA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM MISTURADOR DE TAYLOE PARA APLICAÇÃO
EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE.**

CARAÚBAS – RN

2015

GIOVANNI LAURINDO DE MOURA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM MISTURADOR DE TAYLOE PARA
APLICAÇÃO EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Francisco de Assis Brito Filho – UFERSA.

CARAÚBAS – RN

2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

Setor de Informação e Referência

M929d Moura Júnior, Giovanni Laurindo de.

Desenvolvimento de um misturador de tayloe para aplicação em rádio definido por software/ Giovanni Laurindo de Moura Júnior -- Caraúbas, 2015.

38f.: il.

Orientador: Prof. Me. Francisco de Assis Brito Filho

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Software - desenvolvimento. 2. Misturador tayloe - sistemas. 3. Aplicação em rádio - software. I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 005.12

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa

CRB-15/658

GIOVANNI LAURINDO DE MOURA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM MISTURADOR DE TAYLOE PARA
APLICAÇÃO EM RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE.**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para
obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

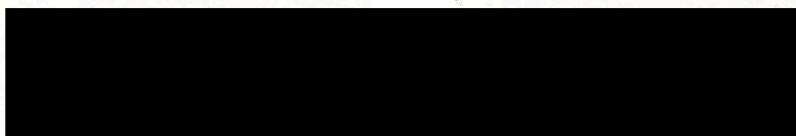
Orientador: Francisco de Assis Brito
Filho – UFERSA.

APROVADO EM 02/02/2015

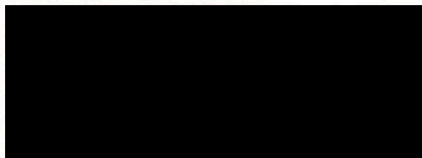
BANCA EXAMINADORA



M. Sc. Francisco de Assis Brito Filho
Orientador



M. Sc. Valdemir Praxedes da Silva Neto



D. Sc. Tania Luna Laura

À minha amada avó Julia Francelino de Moura
e meu primo Jefferson Pedro de Moura(*In*
Memoriam).

À minha avó, Júlia e meu primo Jefferson que
sempre incentivaram a minha dedicação aos
estudos e aos meus pais Giovanni e Antônia que
são os pilares do meu sucesso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que sempre abençoou e abençoa os meus caminhos. Estando nos momentos de alegria e tristeza, confortando e ainda perdoando os meus erros. E acima de tudo, por me dar a oportunidade de conhecer pessoas tão iluminadas.

Aos meus pais, Giovanni e Antonia, que me deram o dom da vida, que são minha fortaleza, me instruíram com os ensinamentos desde cedo, me possibilitando fazer escolhas e estão sempre prontos a me ajudar. Amo vocês!

Às minhas irmãs Ana Cristina e Maria Luiza as quais eu amo muito sempre vou ter como grandes parceiras da vida, obrigado pela ajuda.

Aos meus “novos irmãos” Gustavo, Jurgen, Madson e Mychael os quais o destino tratou de unir para alcançarmos juntos, e com apoio mútuo, sucesso nas nossas carreiras. Obrigado amigos vocês foram de grande ajuda!

Obrigado, Joseany por ser essa companheira que sempre está de prontidão para me ajudar!

A Wanderleia e Zilklênio que me deram apoio durante um bom tempo no início da minha jornada acadêmica.

A Suetônio Moura que é um grande incentivador dos jovens estudiosos universitários da família Moura.

Aos meus familiares, pelos momentos de solidariedade, pelas ajudas ao longo dessa jornada, vocês formam a minha base, e cada um contribui muito para a minha formação, tanto pessoal como profissional.

Aos Mouras e agregados, por juntos formarem o grupo-familiar mais unido que já vi. Por toda a disposição em me ajudar, e por participarem ativamente de minha caminhada.

Ao meu orientador, Brito Filho, por ter depositado confiança e dado a oportunidade de realizar este trabalho. Pela compreensão, disponibilidade e pela sua orientação, estando sempre pronto a me guiar e corrigir.

Aos meus primeiros professores “da elétrica”, Alisson, Brito, Max, Valdemir, Hugo, Tania e Sâmia, que no dia a dia da faculdade, são sérios nos momentos que devem ser sérios e divertidos em muitos momentos, mas que sempre nos incentivam, são profissionais excelentes e exemplos a serem seguidos!

Aos meus amigos da infância e aos que conquistei até aqui, que estiveram comigo, escutaram minhas angústias e alegrias durante todo esse tempo, vocês são indispensáveis para mim.

Aos amigos de graduação, em especial a Nayana e Patricia por todas as suas preces.

Aos meus mestres, que estiveram presentes durante toda a minha formação acadêmica. Vocês me instruíram desde o início e mostraram as opções e os caminhos que me possibilitaram chegar até aqui. Aos docentes do C&T: André, Daniel, Edna, Edvan, Mirna, Mara, Fabiano, Wendel, Rejane, Luis Carlos, Taciano, Ronner, Zenner e demais.

“Tu, Senhor, guardarás em perfeita paz aquele
cujo propósito está firme, porque em ti confia.”

(Isaías 26:3)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um misturador de Tayloe para aplicação em Rádio Definido por Software (RDS). São mostrados os princípios básicos de funcionamento do RDS, que trata de substituição de partes físicas (hardware) por linhas de códigos reprogramáveis (software), um breve histórico, as diferenças entre o RDS ideal e o real. Também é apresentada a teoria dos misturadores de frequências e em especial o misturador de Tayloe, suas principais características e modo de funcionamento, bem como, sua implementação e resultados de simulação.

Palavras-Chave: Misturadores. RDS. Tayloe.

ABSTRACT

This work shows the development of a Tayloe mixer for Software Defined Radio (SDR) application. Will be show the SDR basic concepts, which deals with the replacement of physical parts (hardware) by lines of reprogrammable codes (software), a brief history about it, the differences between ideal and real SDR. Also is shows frequency mixers theory and in special the Tayloe mixer, its main characteristics and mode of operation, as well as its implementation and simulation results.

Keywords: *Mixer. SDR. Tayloe.*

LISTA DE ABREVIATURAS

A/D – Conversor Analógico/Digital

RDS – Radio Definido por Software

RF – Radiofrequência.

FI – Frequência Intermediária.

OL – Oscilador local.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Usos do RDS.	18
Figura 2 – RDS Ideal.....	19
Figura 3 –RDS Prático.....	21
Figura 4 – Misturador Subtrativo (<i>Downconverter</i> , com entrada de RF e saída FI).....	22
Figura 5– Misturador desbalanceado.....	22
Figura 6 – Misturador Balanceado.	23
Figura 7 – Misturador Duplamente Balanceado.....	23
Figura 8 - Gráfico de $P_{saída}$ x $P_{entrada}$ para determinação do ponto de compressão de 1dB.	25
Figura 9 - Transistor NMOS (a) vista em perspectiva (b) Seção transversal.	26
Figura 10 – Detalhe do canal tipo n induzido no NMOS.	26
Figura 11 - Seção transversal de um circuito integrado CMOS.	27
Figura 12 – Diagrama do Misturador De Tayloe.	28
Figura 13 – Um ciclo de onda senoidal.	29
Figura 14 – Filtro.....	30
Figura 15 – Inversor e parâmetros de simulação.....	31
Figura 16 - Inversor	31
Figura 17 - Relação tensão de entrada (V_{in}) e saída (V_{out}) do inversor.	32
Figura 18– Canal do demultiplexador.	33
Figura 19 – Desenho do canal do demultiplexador.	33
Figura 20 - Demultiplexador.	34
Figura 21– Misturador de Tayloe.	35
Figura 22– Ligação de um capacitor de 1.0pF e um resistor de 1kOhm.....	36
Figura 23– Chaveamento do misturador.	37
Figura 24 – Plano para Simulação de Ganho de Conversão.....	38
Figura 25 - Ganho de Conversão.....	39
Figura 26 - Potência da saída A_{out}	39
Figura 27 - Figura de Ruído.	40
Figura 28 – Isolção.	40

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	15
1.2.	OBJETIVOS	15
1.2.1.	Objetivo Geral.....	15
1.2.2.	Objetivos Específicos	15
1.3.	Estrutura do Texto	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.	HISTÓRIA do RDS	17
2.2.	conceitos e Arquitetura geral do rds	18
2.2.1.	O Que é RDS?	18
2.2.2.	RDS ideal	19
2.2.3.	RDS na Prática.....	20
2.3.	Misturadores de Frequência.....	21
2.3.1.	Especificações De Misturadores	23
2.4.	Transistores NMOs e PMOS e dispositivos CMOS	25
3.	MISTURADOR DE TAYLOE	27
3.1.	FUNCIONAMENTO BÁSICO	28
3.1.1.	Detecção de largura de banda	30
	RESULTADOS	31
	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	41
	REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Hoje, dificilmente encontra-se alguém que não possua um celular, televisão ou acesso à internet e esses produtos, tornam-se cada vez mais necessários no dia a dia, na busca de nossa sociedade por informação. O fato é que essas tecnologias utilizam sistemas de radiofrequência (RF), necessária para comunicação sem fio, seja com uma pessoa de um estado ou cidade vizinha, por meio de um celular, ou com o roteador de internet no cômodo ao lado.

Com o aumento do número de usuários de serviços como internet, serviços de redes móveis de celular, TV Digital dentre outros, que necessitam de transferência de dados através de radiofrequência (RF), surge uma demanda por dispositivos receptores banda-larga capazes de serem sintonizados em larga faixa de frequências, já que esses serviços operam em diferentes frequências e geralmente são captados por diferentes tipos hardwares. Esse dispositivo receptor banda-larga também pode ser obtido com o uso do Rádio Definido por Software (RDS).

O RDS trata-se, basicamente, da substituição de dispositivos físicos (hardware) por linhas de comando em software, para implementação das funções de um rádio, e com isso permitir uma maior flexibilidade e otimização no uso destes serviços. Essa tecnologia também é utilizada para baratear custos com os dispositivos de radiofrequência, já que apenas mudando linhas de códigos é possível mudar a função onde antes necessitaria de uma substituição física e bem mais cara.

O Radio Definido por Software, é uma tecnologia que vem emergindo nas últimas décadas devido principalmente a sua plataforma, que possui capacidade de reconfiguração através de software, isso implica na expansão da aplicabilidade de dispositivos usados tanto na transmissão quanto na recepção de sinal de rádio, sendo assim o RDS torna-se uma boa alternativa para melhoras de serviços que utilizam sistemas de troca de dados por RF. (ARSLAN,2007).

Pela sua facilidade de reconfiguração o RDS seria uma boa saída para operadoras telefonia e comunicação, já que, um mesmo dispositivo pode ser fabricado em larga escala, barateando os custos, e suas funções específicas podem ser posteriormente definidas por programação.

Para que o RDS possa ser programado para operar em diferentes padrões, é necessário que o rádio tenha capacidade de operar em uma larga faixa de frequências. Um componente importante para permitir que o rádio seja banda larga é o misturador, que é um circuito com um componente não linear que produz frequências soma e diferença a partir dos sinais de entrada. Os transmissores utilizam a frequência de soma, convertendo a frequência portadora a uma

frequência mais alta. Os receptores fazem o inverso, utilizam a frequência de diferença e transformam uma frequência mais alta em uma frequência menor.

O misturador de Tayloe é um dispositivo misturador de frequências, usado no *front-end* de rádios, parte que antecede o conversor analógico digital, e é um bloco chave para permitir a funcionalidade do RDS na prática, ele possui características especiais, tais como, baixa perda de conversão, maior seletividade e banda larga, além de ter um design compacto em comparação com outros tipos de misturadores (por exemplo, a célula de Gilbert). (TAYLOE, 2003).

1.1. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O desenvolvimento de um misturador de Tayloe visa auxiliar nas pesquisas de Rádio Definido por Software (RDS), tendo em vista que um dos seus principais requisitos é ter uma largura de banda alta, e o misturador é um dos componentes responsáveis pela largura de banda dos dispositivos.

1.2. OBJETIVOS

Neste tópico são apresentados os objetivos, geral e específico, relacionados ao trabalho proposto.

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo sobre RDS e misturadores, bem como, o desenvolvimento de um misturador de Tayloe com características que permitam a sua aplicação em um sistema de RDS.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Aprender o que é e como funciona o RDS e os misturadores de radiofrequência;
- Estudar transistores tipo PMOS e NMOS, e circuitos que utilizam CMOS;
- Desenvolver um misturador de Tayloe para aplicação em RDS;
- Adquirir conhecimentos práticos e teóricos para uma boa formação pessoal e profissional na área.

1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

Neste capítulo foi feita uma introdução sobre Radio definido por Software e seus requisitos básicos, também foi apresentado um tipo de misturador de Tayloe, e ainda, uma apresentação dos objetivos deste trabalho e suas contribuições.

O Capítulo 2 apresenta uma breve história do RDS, alguns conceitos e a arquitetura do RDS Ideal e do RDS Prático, uma breve definição e especificações de misturadores e uma rápida introdução a transistores do tipo PMOS e NMOS e do inversor CMOS.

O Capítulo 3 apresenta o Misturador de Tayloe e o seu princípio de funcionamento.

O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento de um misturador de Tayloe e os resultados obtidos por meio de simulações.

Finalmente, O Capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho, bem como, discussões sobre trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. HISTÓRIA DO RDS

O Rádio Definido por Software (RDS), segundo (LIMA), tem sua origem nos sistemas militares do Departamento de Defesa Americano (DoD) e surgiu da necessidade de integração das várias interfaces aéreas existentes nos seus Sistemas de Comando e Controle (SC2). A partir daí, para se obter tal interoperabilidade, tornou-se necessário o desenvolvimento de rádios que interagissem, ao mesmo tempo, com duas ou mais interfaces aéreas e nas várias faixas de frequência existentes e que ainda pudesse ser modificado por uma simples troca de software, sem a necessidade de maiores ajustes em hardware. Isso aumentaria e muito a relação custo-benefício e ainda aumentaria a vida útil dos equipamentos.

SANT'ANNA (2002) Afirma que:

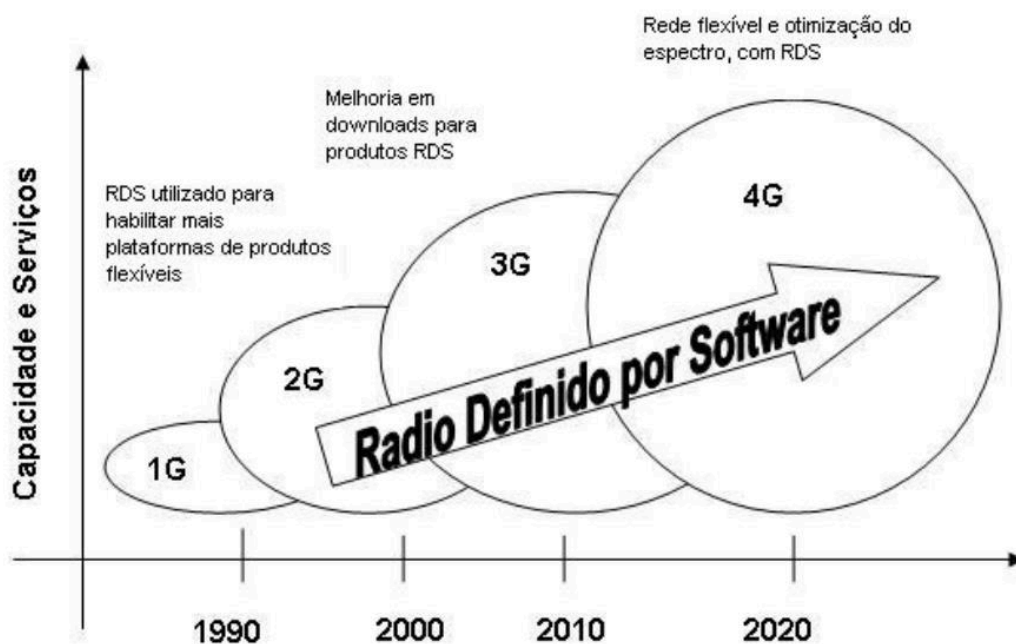
Dos anos de 1970 para os de 1980 assistiu-se à migração dos sistemas de rádio analógico para sistemas de rádio digital. A partir de 1980, uma explosão de sistemas móveis celulares tem produzido, em todo o mundo, a definição de muitos padrões analógicos e digitais. Nos anos 90, houve a concepção do chamado Software Defined Radio, que realizará as funções de rádio em plataformas digitais programáveis e reconfiguráveis, através da definição destas funções por um software.

Segundo BARROS(2007), o RDS tem como origem as pesquisas militares, mas cada vez mais vem se popularizando no meio comercial, e nos últimos anos vem sendo amplamente estudado por oferecer uma solução interessante para as comunicações móveis, adaptável a diversas interfaces de rádio, incentivando uma migração para o campo comercial e tornando-se um caminho para a integração dos sistemas de comunicação, além de favorecer interfaces multibanda para o usuário comum, e para implementação de tecnologias futuras como os sistemas de telefonia celular da 4ª geração (4G) e suas sucessoras.

Hoje, é perceptível que os serviços de redes, tanto de internet quanto de telefonia móvel, estão cada vez mais requisitados, com mais usuários ativos por mais tempo e com o desejo de ter sempre um serviço de qualidade em todos os horários do dia. E isso se transforma em preocupação para empresas desse ramo que muitas vezes não conseguem suprir as necessidades de todos os seus clientes.

Barros(2007) afirma que, “O uso do RDS tende a aumentar, logo há um aumento na capacidade do sistema e conseqüentemente mais serviços aos usuários. Este aumento é ilustrado na Figura (a seguir), fazendo uma analogia as próximas gerações de telefonia móvel.”

Figura 1– Usos do RDS.



Fonte: BARROS, 2007

2.2. CONCEITOS E ARQUITETURA GERAL DO RDS

2.2.1. O que é RDS?

O Rádio Definido por Software(RDS) não pode ser facilmente definido hoje, por se tratar de uma tecnologia relativamente nova e que é associada a inúmeros tipos de tecnologia. Ainda não foi criada uma padronização para esse termo.

Kenington (2005 apud BARROS, 2007) compartilham do pensamento que “rádio definido por software é todo transceptor de rádio cujos parâmetros chave são definidos em software e cujos aspectos fundamentais para o funcionamento podem ser reconfigurados apenas com uma atualização (*upgrade*) do software”.

Entretanto, ainda pode ser visto uma definição mais ampla descrita por Mitola (2000 apud BARROS, 2007) “um rádio definido por software é um rádio cuja modulação das formas

de onda do canal é definida em software. Isto é, as formas de onda são geradas como sinais digitais amostrados, convertidas de digitais para analógicas por um conversor digital analógico de banda larga, que captura todos os canais do nó do RDS. O receptor, por sua vez, captura o sinal, faz um abaixamento de frequência e demodula a forma de onda do canal por meio de um software que roda sobre um processador de uso geral”.

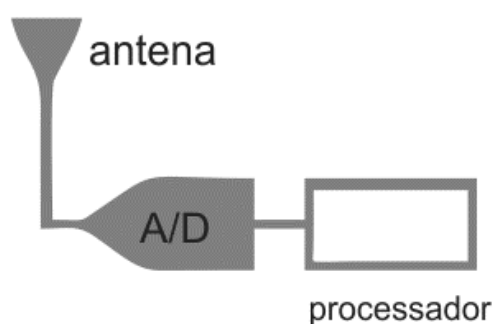
Rádio Definido por Software é uma tecnologia que é utilizada para transformar problemas de hardware em problemas de software, ou seja, realizar implementações e alterações por meio de linhas de códigos que antes necessitavam de uma mudança física, como a substituição de componentes ou circuitos inteiros.

De acordo com o pensamento de Barros (2007), além de configurabilidade, que já é uma ótima qualidade do RDS, uma outra grande vantagem do RDS seria o barateamento dos dispositivos, já que podem ter uma produção padronizada de hardware, sendo que as funções de cada aparelho poderiam ser escolhidas depois de prontos, por meio de um software, e assim criar-se uma economia na produção do hardware do sistema, aproveitando o baixo custo do desenvolvimento do software e o usuário final sendo beneficiado.

2.2.2. RDS ideal

Um RDS ideal deve digitalizar o sinal o mais próximo possível da antena, diminuindo assim o processamento em hardware. Idealmente, os conversores analógico-digital e digital-analógico deveriam estar localizados logo após a antena do rádio e todo o processamento do sinal seria realizado por meio de um software rodando em um dispositivo configurável (BARROS,2007). A Figura a seguir ilustra essa ideia.

Figura 2 – RDS Ideal



Fonte: Autor

A estrutura RDS ideal busca quatro características primordiais, são elas:

- i. Reconfigurabilidade: é a capacidade de alterar o funcionamento do rádio. Esta é uma característica promissora, pois a idéia de se reconfigurar um rádio a distância, sem intervenção física é de muita utilidade.
- ii. Flexibilidade: possível reconfiguração sem mudanças na arquitetura do rádio.
- iii. Modularidade: divisão do sistema em módulos distintos. Essa característica implica na alta flexibilidade do sistema, já que, se porventura alguma modificação for realizada em algum dos módulos, não afetará todo o sistema do RDS.
- iv. Largura de Banda: é o que define a abrangência de frequências possíveis de serem captadas pelo receptor. Ela é quem delimita a quantidade de serviços, padrões e frequências que podem ser implementadas no rádio.

2.2.3. RDS na Prática

Devido às limitações práticas dos atuais conversores A/D não é possível montar a estrutura do RDS ideal, sendo adotada uma estrutura auxiliar, chamada de *front-end* de Radiofrequência (RF).

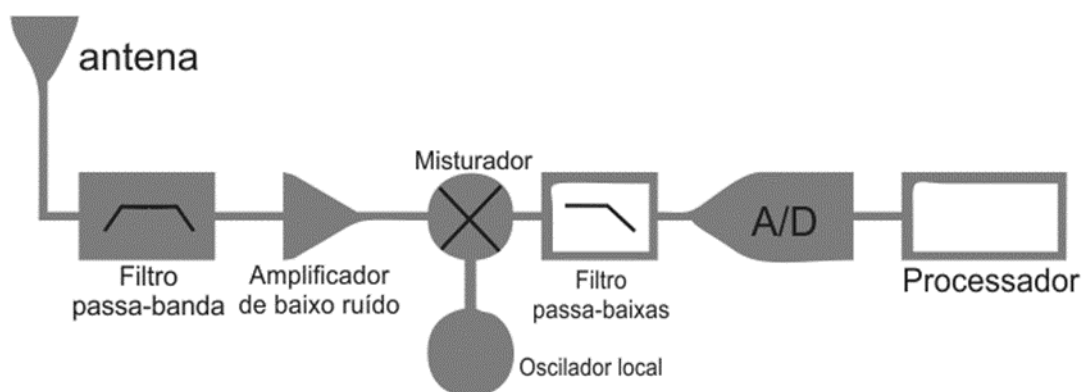
Barros(2007) afirma que:

O modelo do transceptor RDS ideal, mostrado na Figura (2), não pode ser implementado com a tecnologia existente atualmente. Na realidade, os conversores analógicos-digitais e digitais-analógicos e os dispositivos de processamento são ainda bastante limitados tecnologicamente para atender os requisitos de um RDS, as versões mais modernas são capazes atualmente de digitalizar sinais na banda de frequência na ordem de 100 MHz. Esta se torna uma barreira no desenvolvimento da tecnologia RDS e na construção de plataformas. Para se encontrar a reconfigurabilidade esperada, trabalhando em diversas frequências, necessita-se de conversores AD que façam à conversão a uma taxa de amostragem bastante alta, capaz de digitalizar sinais na banda de frequências da ordem de GHz, e que o consumo de potência não ultrapasse valores aceitáveis. O dispositivo de processamento também deve ser capaz de operar de modo a processar a enorme quantidade de informação recebida e ao mesmo tempo enviá-la ao conversor DA a uma taxa considerável. Cada dispositivo possui limitações e qualidades. Cabe ao projetista desenvolver e escolher o melhor equipamento para a função designada ao RDS.

O *front-end* de RF utilizado no RDS prático, do ponto de vista de recepção, é composto basicamente de um filtro passa-banda, um amplificador de baixo ruído, um misturador, em

conjunto com um oscilador local, e um filtro passa-baixas, colocada entre a antena e o conversor Analógico Digital(A/D). Mostrado na figura a seguir.

Figura 3 –RDS Prático.



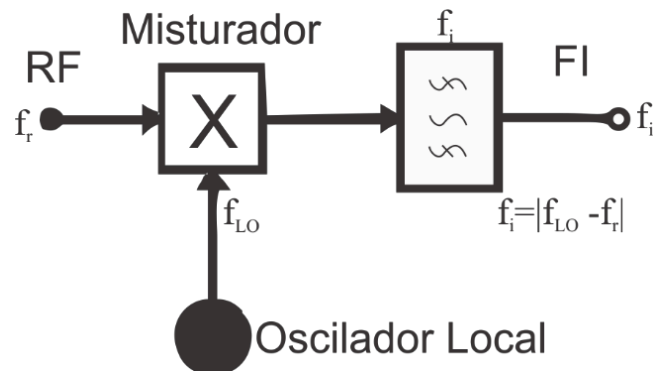
Fonte: Autor

A antena capta um sinal que é limitado por um filtro passa-banda, onde só passam as frequências dentro da faixa desejada pelo usuário. O sinal que sai do filtro passa-banda vai para um amplificador de baixo ruído, que por sua vez amplifica o sinal sem ampliar o ruído, e esse sinal vai para o misturador, que, junto com o oscilador faz a conversão do sinal para uma Frequência Intermediária(FI), que passa por um novo filtro passa-baixas, deixando passar as frequências mais baixas que vão para o conversor A/D o qual transforma as informações que chegam por sinal analógico em informações digitais que são processadas em um computador.

2.3. MISTURADORES DE FREQUÊNCIA

Misturadores de frequência, em sistemas de RF, são circuitos com um componente não linear que é capaz de produzir frequências soma e diferença a partir de dois sinais de entrada. A entrada de um misturador pode ser tanto um sinal de RF ou de Frequência Intermediária(FI), no primeiro caso, comum em receptores, em sua saída é gerado um sinal de FI, e no segundo caso, utilizados geralmente nos sistemas de transmissão, na saída do misturador é gerado um sinal de RF. (NASCIMENTO,1992).

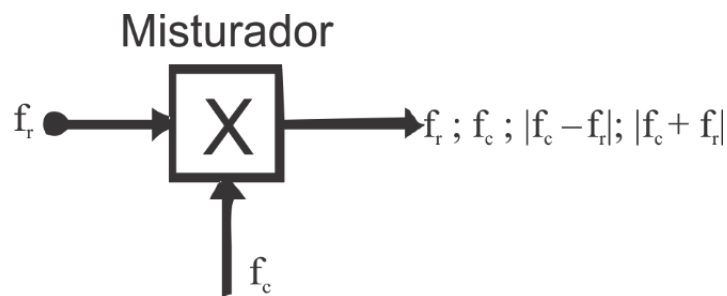
Figura 4 – Misturador Subtrativo (*Downconverter*, com entrada de RF e saída FI)



Fonte: (NASCIMENTO, 1992)

Além dos sinais aplicados os misturadores geram novos sinais cuja frequência é dada pela soma e diferença das frequências de entrada. Em um misturador desbalanceado podemos encontrar em sua saída, além das frequências soma e diferença, as frequências que as originaram como mostra a figura a seguir:

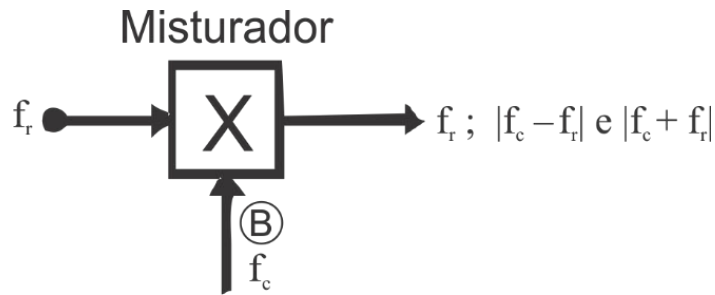
Figura 5– Misturador desbalanceado.



Fonte: (NASCIMENTO, 1992)

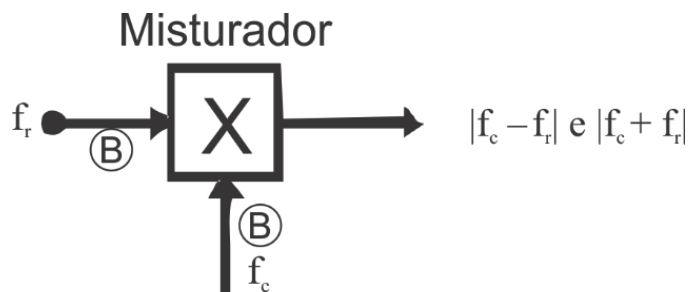
Já o misturador balanceado (figura 6) elimina de sua saída um dos sinais aplicados e o misturador duplamente balanceado (figura 7) elimina da saída ambos os sinais de entrada. Esse tipo de misturador é utilizado quando se quer eliminar o máximo de sinais indesejados.

Figura 6 – Misturador Balanceado.



Fonte: (NASCIMENTO, 1992)

Figura 7 – Misturador Duplamente Balanceado.



Fonte: (NASCIMENTO, 1992)

O misturador de Tayloe, desenvolvido neste trabalho, é um misturador do tipo duplamente balanceado.

2.3.1. Especificações De Misturadores

Para especificar um misturador e avaliar sua qualidade é necessário analisar algumas características, dentre elas as mais comuns são figura de ruído, perda de conversão e isolamento.

2.3.1.1. PERDA DE CONVERSÃO

Perda de conversão consiste em quanto de potência é dissipada no circuito do misturador durante a conversão do sinal, é dada pela seguinte equação:

$$\text{Perda de conversão}(dB) = -10\log(P_{IF}/P_{RF}) \quad (1)$$

2.3.1.2. FIGURA DE RUÍDI

A Razão de Ruído (RR) de um receptor é quanto a relação sinal-ruído (S/R) de entrada se deteriora em consequência de circuitos receptores ruidosos. A Figura de Ruído (FR) é o equivalente em decibéis da razão de ruído: $FR=10*\log RR$.

$$RR = \frac{S/R_{entrada}}{S/R_{saída}} \quad (2)$$

$$FR = 10 * \log \frac{S/R_{entrada}}{S/R_{saída}} \quad (3)$$

Para minimizar o ruído no sistema é usado um amplificador de baixo ruído, que tem como finalidade amplificar o sinal de entrada sem que amplie o ruído nele existente. Assim é possível conseguir uma informação mais limpa.

2.3.1.3. ISOLAÇÃO

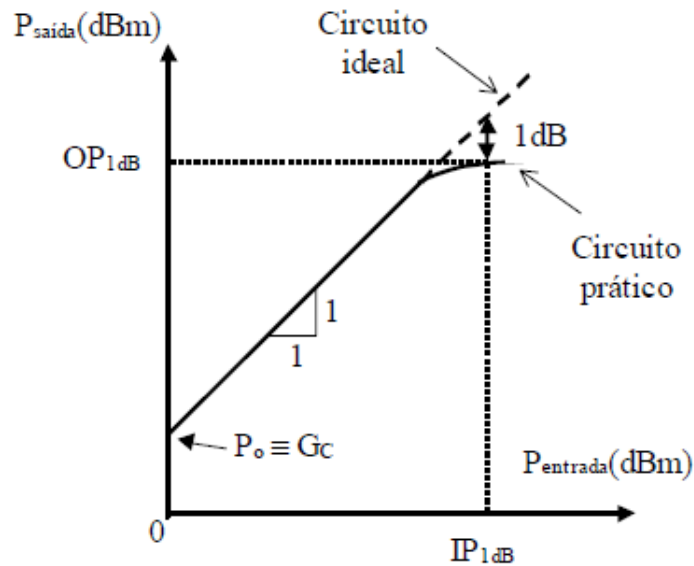
A isolação fornece uma medida da quantidade de potência do sinal inserida em uma determinada porta do misturador aparecerá nas outras portas. É desejável que o misturador ofereça uma maior isolação possível pois, se a isolação de OL para RF for pobre, se a potência do LO for muito maior que a potência do RF, pode aparecer na entrada de RF um grande sinal de OL. A presença deste sinal nesta entrada faz com que o misturador tenha seu desempenho reduzido, além de ocorrer uma reemissão pela antena. (MARTINS, 2002)

2.3.1.4. PONTO DE COMPRESSÃO DE 1DB

Para um circuito ideal, a potência de entrada e de saída deveria ser constante independente da potência de entrada, entretanto, devido a não linearidade e as limitações de correntes e/ou de tensões, o ganho de conversão começa a cair a partir de determinada potência de entrada/saída. O ponto onde o ganho cai 1dB é chamado de ponto de compressão de 1dB. (MARTINS, 2002)

Uma forma gráfica de se observar o ponto de compressão de 1 dB é com o plote do gráfico de potência de saída versus potência de entrada, como mostrado na figura 8.

Figura 8 - Gráfico de $P_{saída}$ x $P_{entrada}$ para determinação do ponto de compressão de 1dB.



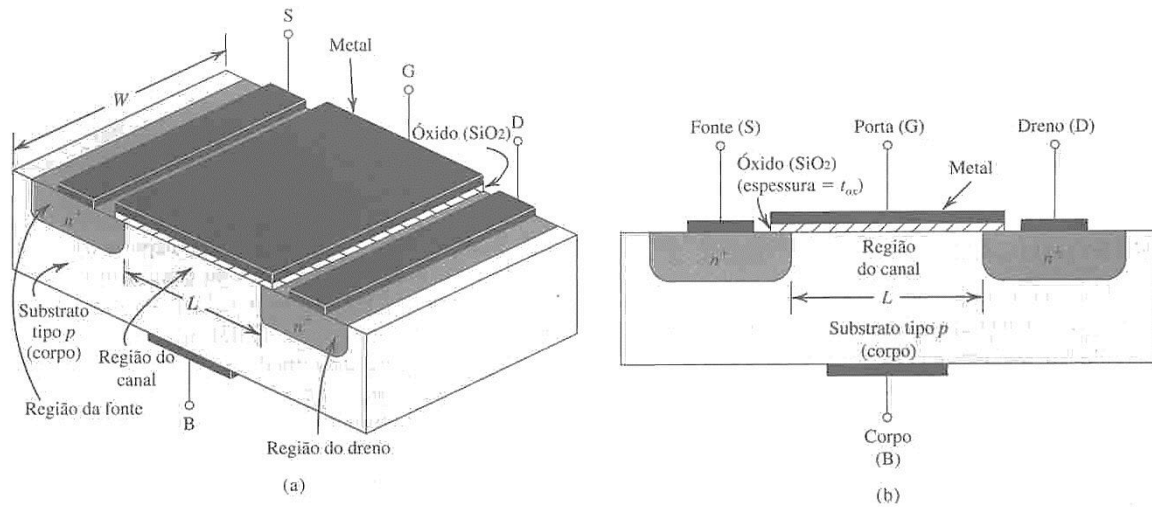
Fonte: MARTINS, 2002.

2.4. TRANSISTORES NMOS E PMOS E DISPOSITIVOS CMOS

O MOSFET é amplamente empregado, principalmente no projeto de circuitos integrados (CIs), que são circuitos fabricados sobre pastilha (*chip*) simples de silício. Os MOSFETS podem ser fabricados em dimensão muito pequena, e seu processo de fabricação é relativamente simples se comparado a outros transistores, como por exemplo o TBJ. Também para sua operação é necessária pouca potência. (SEDRA, 2007).

A figura a seguir mostra a estrutura de um MOSFET tipo canal n. o transistor é fabricado sobre um substrato do tipo p, que é uma lamina de silício cristalino que serve de suporte físico para o dispositivo. Duas regiões fortemente dopadas do tipo n, indicadas na figura como regiões da fonte e do dreno n^+ , são difundidas no substrato uma camada fina de dióxido de silício (SiO_2) de espessura t_{ox} , que é uma excelente isolante, é crescido sobre a superfície do substrato, cobrindo a área entre as regiões da fonte e do dreno. Um metal é depositado sobre a camada de óxido para formar o eletrodo de porta do dispositivo. São feitos contatos de metal para as regiões da fonte, dreno e do substrato (também conhecido por, corpo) do dispositivo. (SEDRA, 2007).

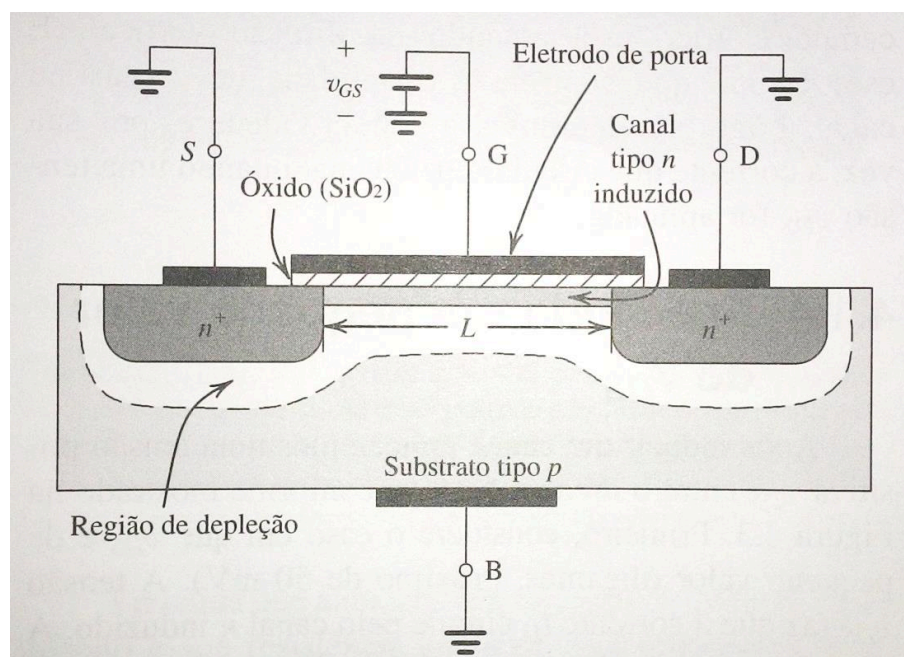
Figura 9 - Transistor NMOS (a) vista em perspectiva (b) Seção transversal.



Fonte: SEDRA, 2007

Quando uma tensão positiva é aplicada a porta (G), ela atrai elétrons das regiões n^+ da fonte e do dreno para a região do canal e quando for acumulado um certo número de elétrons próximo a superfície do substrato sob a porta, uma região n é criada, conectando as regiões da fonte a do dreno. Agora se uma tensão for aplicada entre o dreno e a fonte uma corrente circulará por essa região n induzida (essa região também é chamada de canal n). (SEDRA, 2007). E esse é o princípio de funcionamento do transistor NMOS, e pode ser visto na figura 10.

Figura 10 – Detalhe do canal tipo n induzido no NMOS.

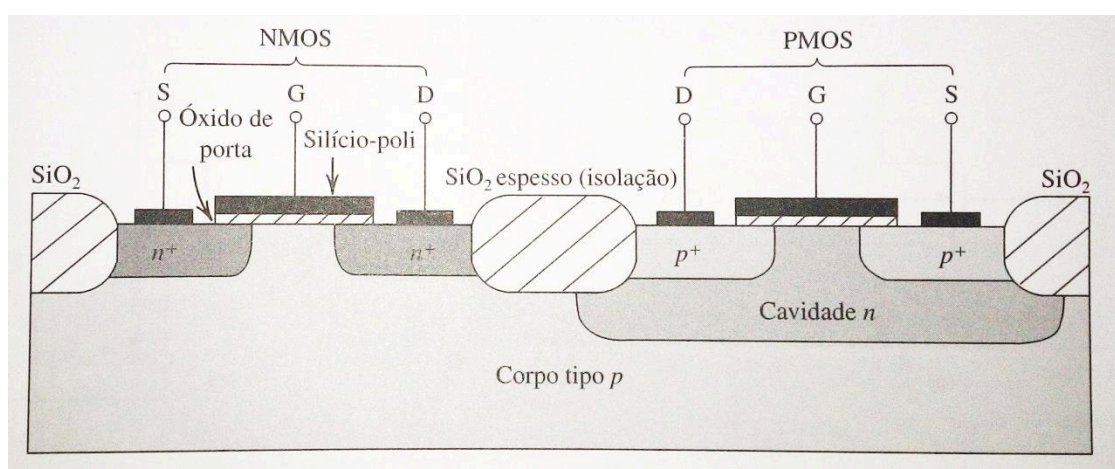


Fonte: SEDRA, 2007

O transistor PMOS é fabricado sobre um substrato tipo p^+ para o dreno e a fonte e, nesse caso, as lacunas são os portadores de carga. O dispositivo opera da mesma forma que o CMOS, exceto que as tensões aplicadas a porta e ao dreno são negativas, e a corrente entra pelo terminal da fonte e sai pelo o do dreno. (SEDRA, 2007).

O transistor PMOS é complementar ao transistor NMOS e eles podem ser empregados em dispositivos de forma simultânea, a essa tecnologia dar-se o nome de MOS complementares ou CMOS, muitos circuitos são fabricados com essa tecnologia. (SEDRA, 2007).

Figura 11 - Seção transversal de um circuito integrado CMOS.



Fonte: SEDRA, 2007

O uso de CMOS para desenvolvimento desse projeto se deu pela intenção de, posteriormente, implementá-lo em um chip físico.

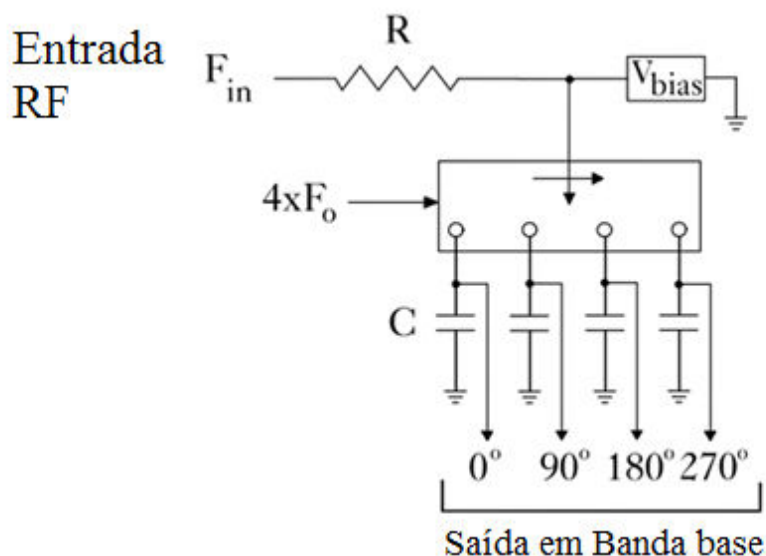
3. MISTURADOR DE TAYLOE

O Misturador de Tayloe foi desenvolvido por Dan Tayloe, trata-se de um misturador de frequências para aplicação no *front-end* do rádio definido por software.

Esse misturador foi escolhido por oferecer características compatíveis com aplicação em rádio definido por software. Segundo Tayloe(2003) o misturador possui uma perda de conversão da ordem de 1dB, é livre de seletividade de faixa de banda, com uma largura de banda definida pelo usuário, um ponto de interceptação de 3ª ordem alto (+30dBm) e um design simples em comparação com outros misturadores de conversão direta, ou zero IF, e em relação aos detectores com saídas em fase e em quadratura (do tipo IQ).

O limite de frequência superior do detector de Tayloe é definido pela capacidade de um transistor de ser ligado por apenas um quarto de ciclo da frequência de entrada a ser convertida para banda base. A frequência útil máxima para este detector é estendida a pelo menos 10GHz. (TAYLOE, 2003).

Figura 12 – Diagrama do Misturador De Tayloe.



Fonte: TAYLOE, 2003

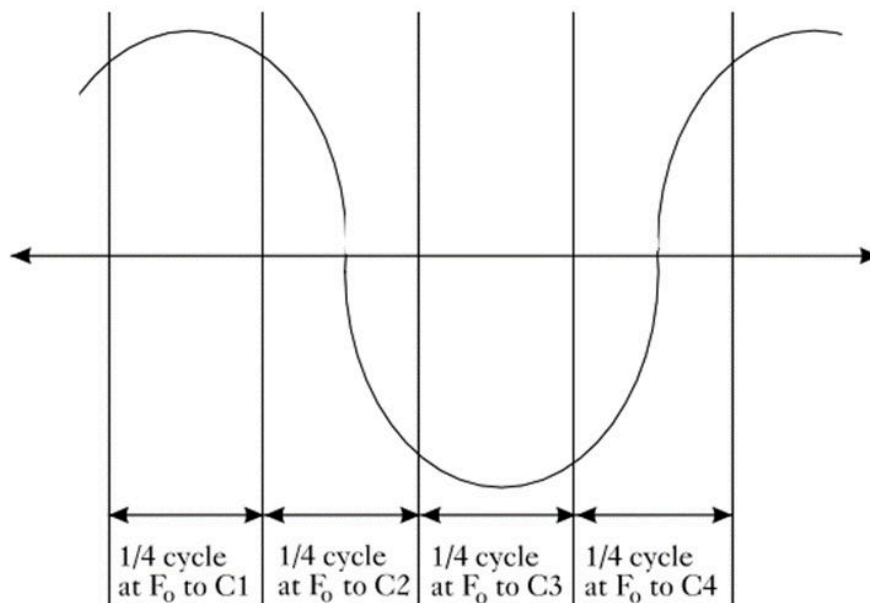
3.1. FUNCIONAMENTO BÁSICO

A arquitetura básica do detector é mostrada na figura 12, onde nota-se que o detector tem um design simples. O sinal de RF de entrada é encaminhado através de uma resistência comum, R e um demultiplexador de RF chavear o sinal para um dos quatro capacitores de detecção C. Este demultiplexador 1-para-4 é comutado a uma velocidade de 4 vezes a frequência de detecção desejada. A frequência 4x comutada faz com que cada capacitor tenha um quarto de ciclo da Frequência de entrada na frequência de detecção desejada. (TAYLOE, 2003).

Segundo Tayloe(2003), misturadores geralmente produzem soma e diferença de frequências nas saídas. Em aplicações do tipo Zero IF, a frequência de diferença é usada, enquanto a soma é jogada fora. Portanto, a perda de conversão usando um misturador ideal é, pelo menos, 3 dB, com uma perda de conversão típica de 4-6 dB na prática.

A figura 9 mostra uma onda senoidal que passa a ser a mesma frequência que o detector está sintonizado, esse alinhamento produz uma tensão positiva máxima no primeiro capacitor, zero no segundo e no quarto capacitor, e uma tensão máxima negativa no terceiro capacitor. (TAYLOE, 2003).

Figura 13 – Um ciclo de onda senoidal.



Fonte: Tayloe, 2003

Realizando uma integração ao longo do pico de um quarto de ciclo desta onda senoidal mostra que a tensão máxima detectada será de aproximadamente 0,9002 vezes a tensão de pico da onda senoidal. Assim, a perda de detecção é idealmente da ordem de 0,9 db.

Se a frequência do sinal de entrada é deslocada ligeiramente da frequência de detecção, as tensões resultantes sobre os capacitores de detecção já não serão estacionárias, mas derivará com o tempo, seguindo a frequência diferença entre o sinal de entrada e a frequência de detecção. (Tayloe, 2003)

Em resumo, o primeiro capacitor torna-se a amostragem banda base em 0 graus, com os outros capacitores de detecção de detecção de 90, 180 e 270 graus, respectivamente.

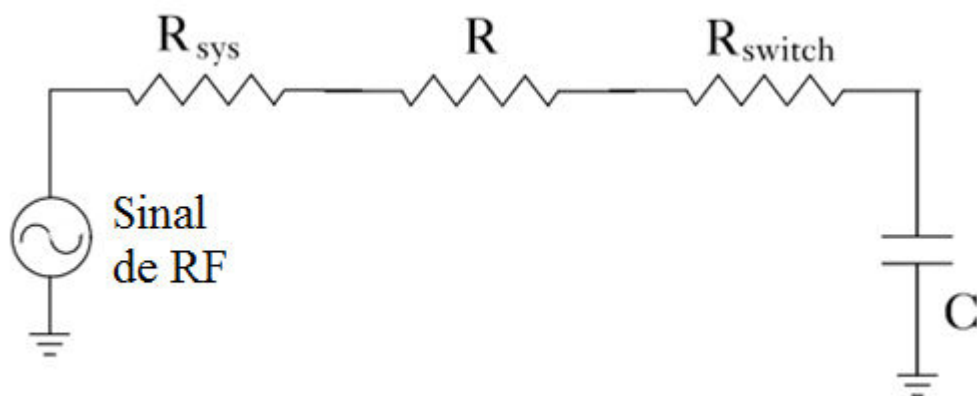
As saídas defasadas em 180 e 270 graus levam uma informação que é redundante as saídas defasadas em 0 e 90, respectivamente. Portanto as saídas defasadas em 0 e 180 graus podem ser somadas diferencialmente para produzir o sinal em fase ("I") e as saídas defasadas

em 90 e 270 graus podem ser igualmente combinados para formar um sinal em quadratura ("Q").

3.1.1. Detecção de largura de banda

O detector tem uma atenuação da frequência que pode ser definido selecionando adequadamente R e C. Juntos R e C agem como um filtro passa-baixa em banda base. Observe que a resistência série equivalente não é apenas o filtro de entrada R, mas também inclui a impedância de entrada do sistema, R_{sys} , e a resistência da chave do canal demultiplexador R_{switch} .

Figura 14 – Filtro.



Fonte: Tayloe 2003

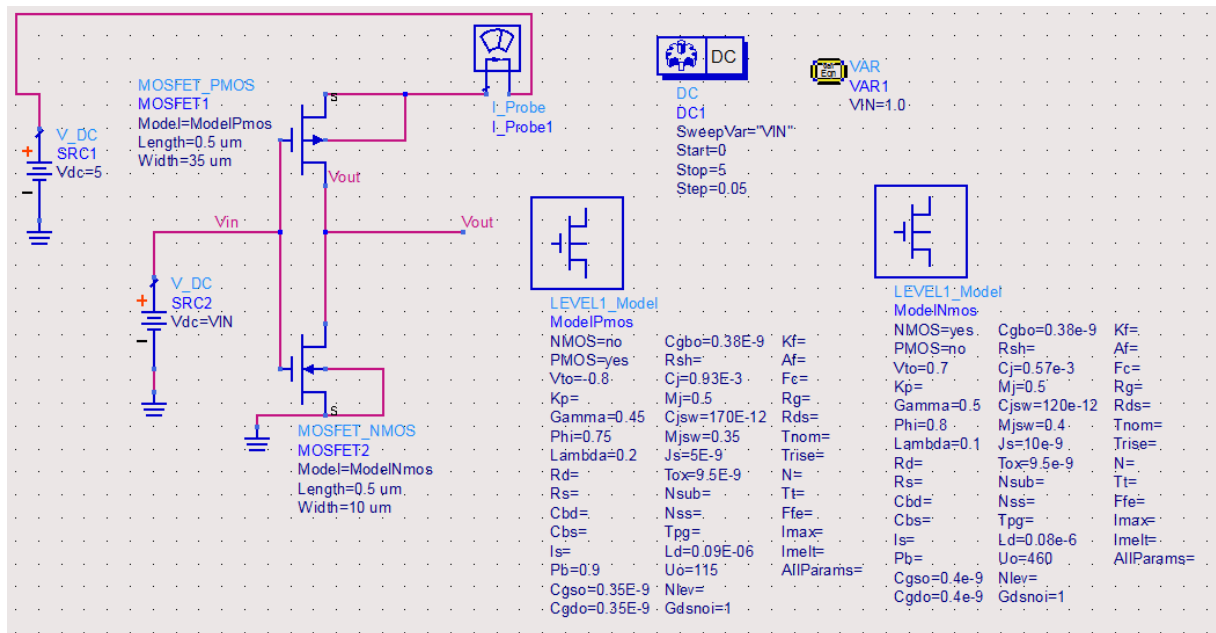
Uma vez que cada capacitor do detector vê a entrada para apenas um quarto do tempo, a resistência efetiva utilizada no cálculo filtro passa-baixa é: 4 vezes ($R_{sys} + R + R_{switch}$).

O misturador de Tayloe possui uma seletividade centrada na frequência desejada, podendo até oferecer uma filtragem de banda maior que o filtro passa-banda e em alguns casos ele pode anular a necessidade de utilização de filtro passa-banda. (TAYLOE, 2003).

RESULTADOS

O primeiro passo para o desenvolvimento do misturador de Tayloe foi projetar um inversor, utilizando dois transistores do tipo NMOS e do tipo PMOS, utilizando o software Advanced Design System (ADS), da Agilent. A figura 15 mostra o circuito com o inversor pronto e com os parâmetros para simulação definidos.

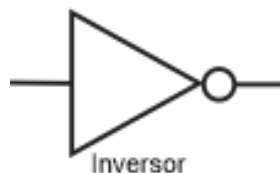
Figura 15 – Inversor e parâmetros de simulação.



Fonte: Autor

Para uma melhor compreensão o inversor será representado pela seguinte imagem.

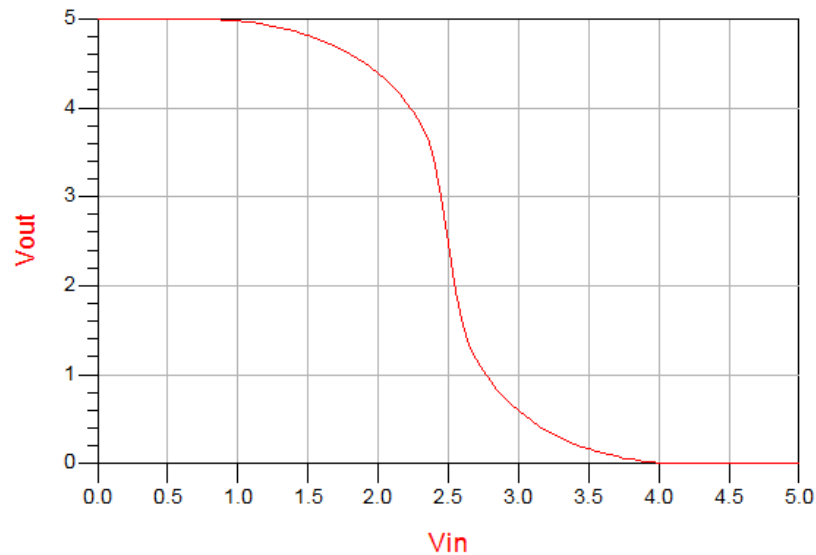
Figura 16 - Inversor



Fonte: Autor

O resultado da simulação desse inversor é mostrado na figura 17 onde podemos observar um gráfico que mostra a relação entre as tensões de entrada (V_{in}) e a tensão de saída (V_{out}).

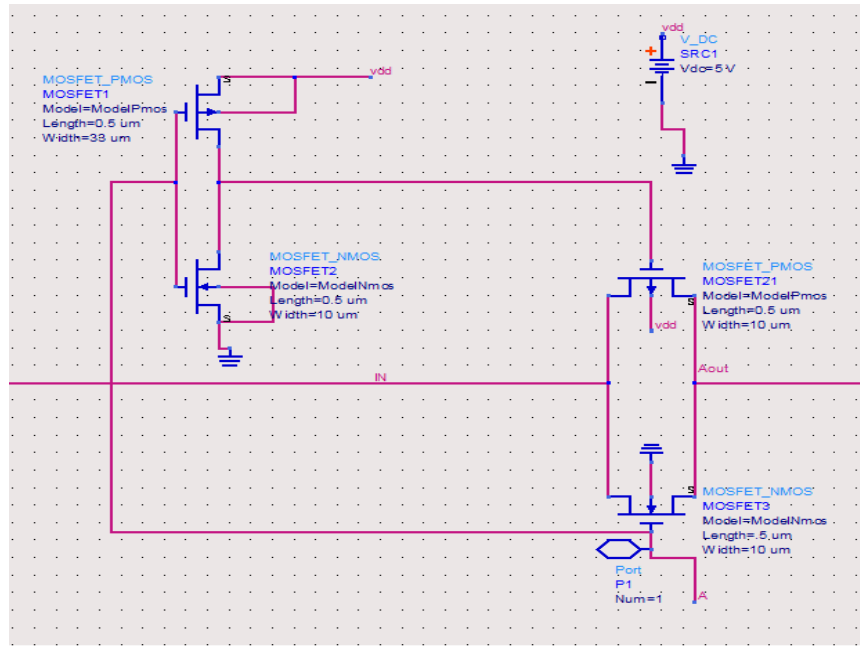
Figura 17 - Relação tensão de entrada (V_{in}) e saída (V_{out}) do inversor.



Fonte: Autor

Depois de conseguir um resultado satisfatório com o inversor, foi feito o projeto do circuito do demultiplexador usando um inversor CMOS, e uma chave CMOS. A figura 18 mostra uma das quatro portas de saída.

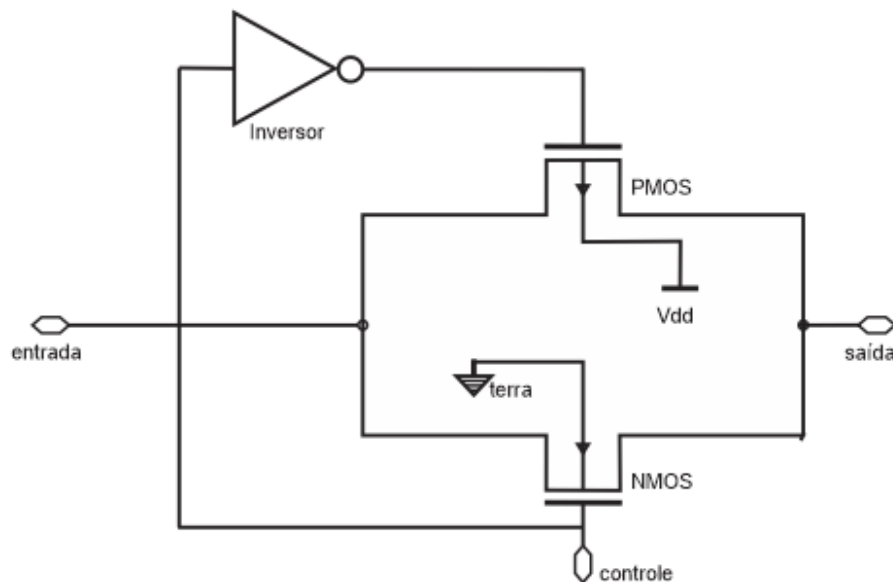
Figura 18– Canal do demultiplexador.



Fonte: Autor.

Esse canal também pode ser representado pelo seguinte desenho.

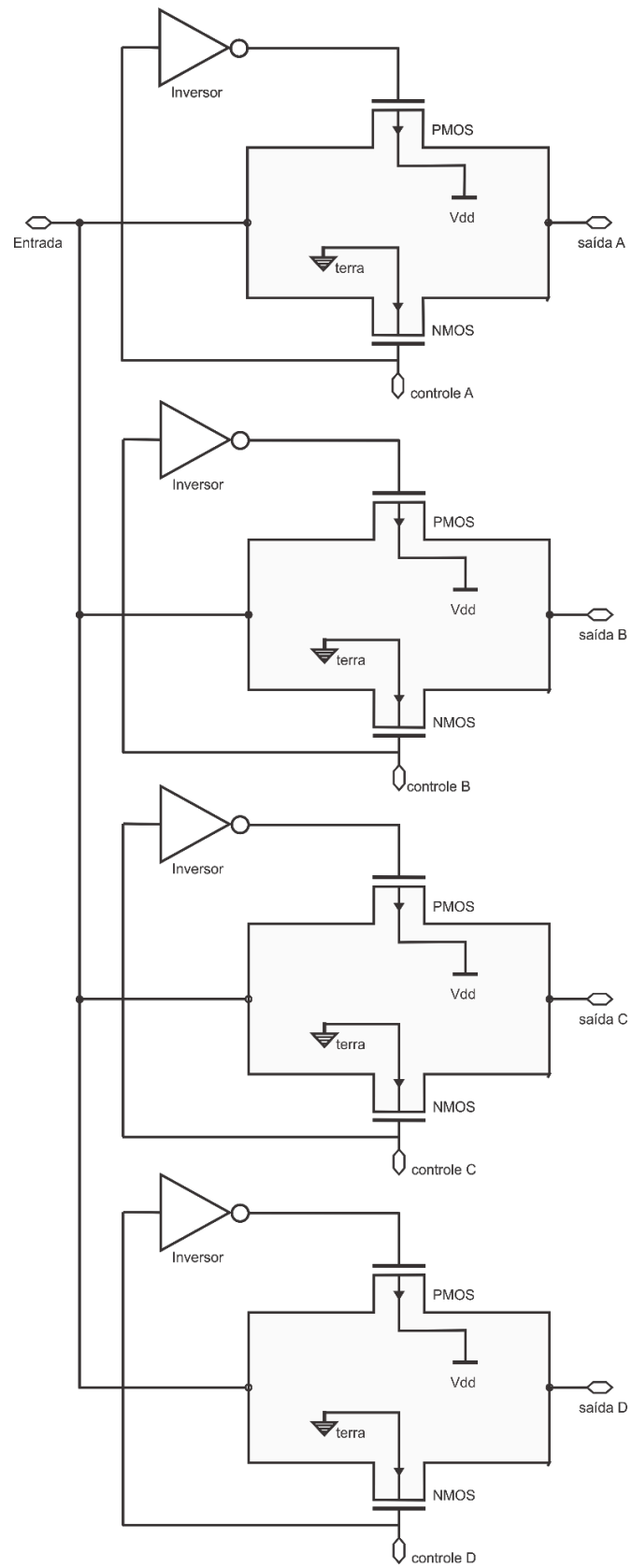
Figura 19 – Desenho do canal do demultiplexador.



Fonte: Autor.

O demultiplexador utilizado neste trabalho é composto por quatro canais mostrado na figura 19. A seguir é mostrado a montagem completa do demultiplexador.

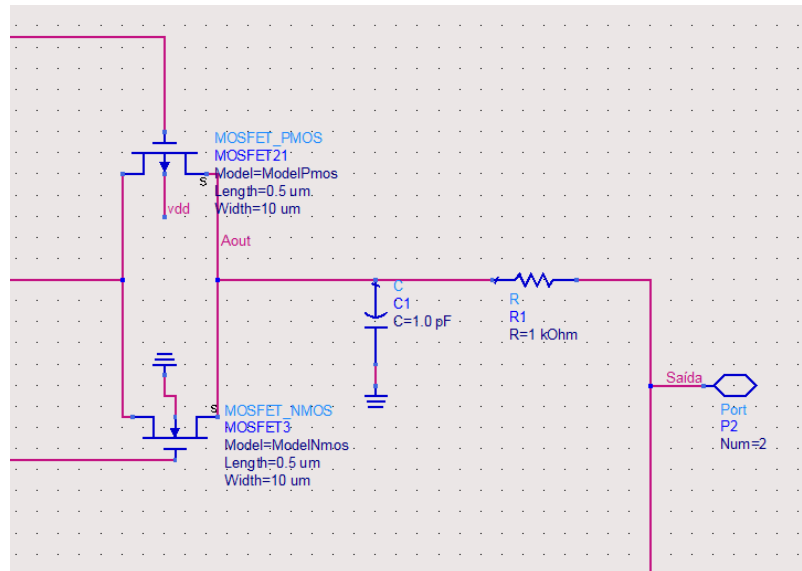
Figura 20 - Demultiplexador.



Fonte: Autor

A figura 22 mostra em maior detalhe a saída 0° (Aout) do demultiplexador, ligada a um capacitor de 1pF.

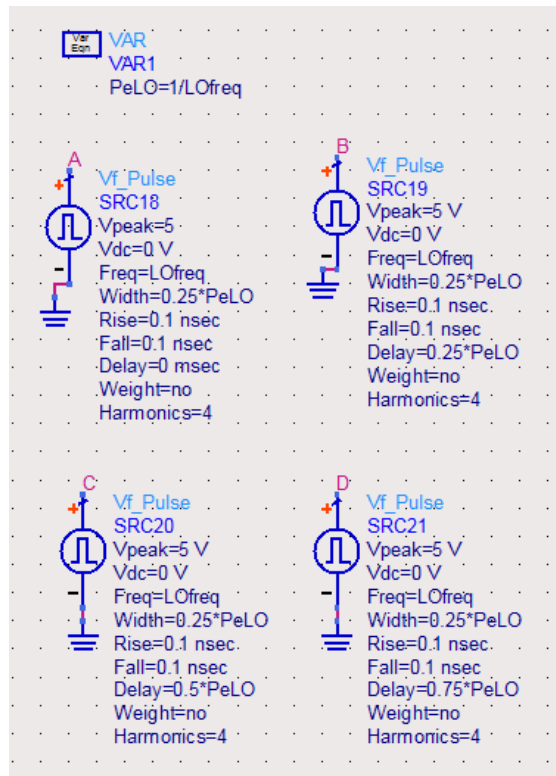
Figura 22– Ligação de um capacitor de 1.0pF e um resistor de 1kOhm.



Fonte: Autor

Como o demultiplexador é um bloco digital, foi preciso simular uma porta selecionada de cada vez, esse chaveamento foi produzido colocando quatro fontes de pulso de 5v, trabalhando na mesma frequência, com duração do pico com um quarto do período, e usando um atraso de um quarto, dois quartos e três quartos do período, para a fonte ligado ao seletor B, seletor C e seletor D respectivamente. A figura 23 apresenta esse esquema descrito.

Figura 23– Chaveamento do misturador.

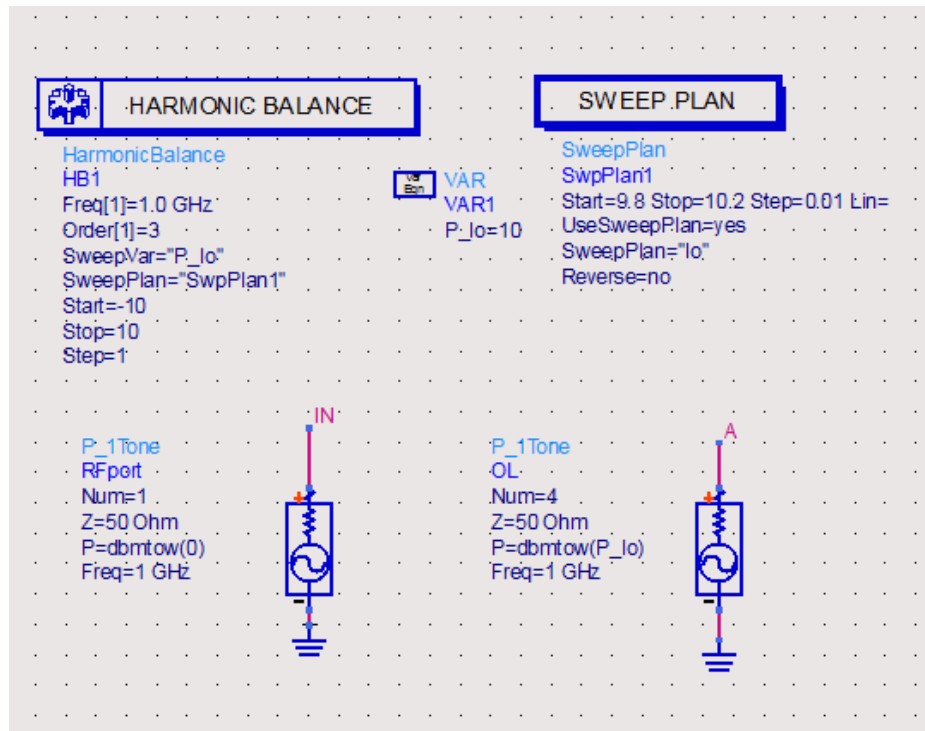


Fonte: Autor

Para verificar as especificações do misturador desenvolvido, foram realizados testes de ganho de conversão, ponto de compressão de 1 dB, figura de ruído e isolamento.

Para a simulação do ganho de conversão, foi utilizada a simulação do tipo Balanço Harmônico, conectando a entrada (IN) do misturador a uma fonte de 1GHz com impedância de 50 Ohm, e na entrada OL (A) uma fonte de 1GHz, impedância de 50 Ohm e ganho variando de 9.8 a 10.2 dB.

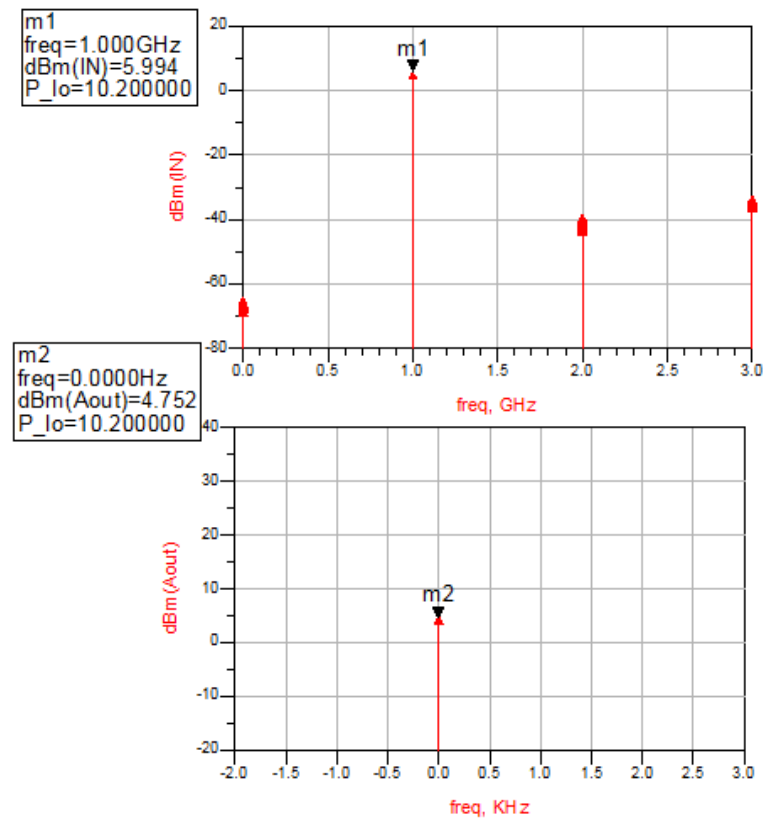
Figura 24 – Plano para Simulação de Ganho de Conversão.



Fonte: Autor

Assim, como esperado, o teste de ganho de conversão obteve um resultado próximo ao descrito por Tayloe em seu artigo, que era de aproximadamente 1dB. O primeiro gráfico da figura 25 mostra uma potência de 5,994 dBm na entrada do misturador e no segundo gráfico é expressado a potência de saída do canal A, sendo assim obtendo uma perda de conversão de 1,242dB.

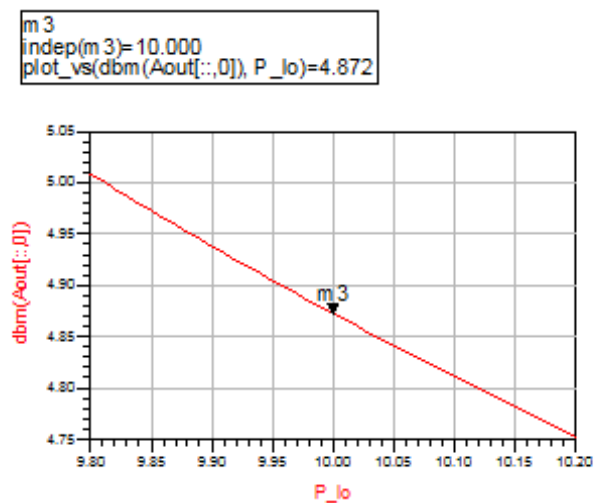
Figura 25 - Ganho de Conversão.



Fonte: Autor

A figura 26 mostra a potência da saída Aout com uma variação de potência na entrada A de 9.8 a 10.2 dB, o marcador (m3) posicionado a potência de 10 dB da porta A (eixo P_lo) da mostra que nessa potência a saída libera um sinal de 4.87dB.

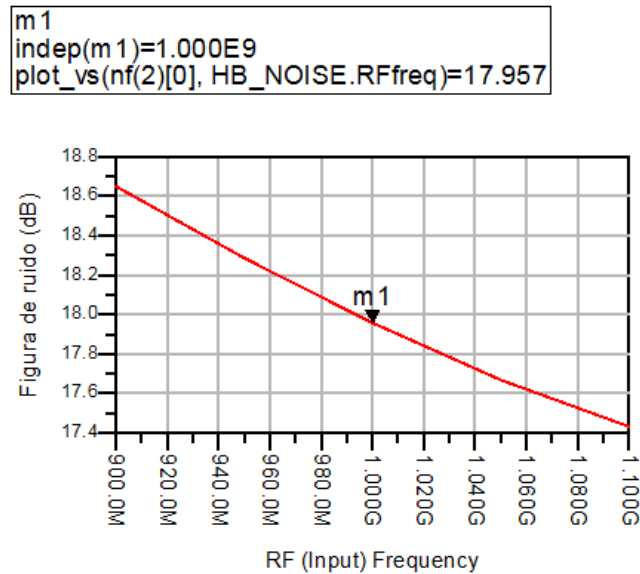
Figura 26 - Potência da saída Aout.



Fonte: Autor.

A figura de ruído, como o próprio nome diz, é uma demonstração gráfica do ruído produzido no circuito do misturador, a figura 27 mostra que o misturador desenvolvido apresentou uma figura de ruído de aproximadamente 18dB na saída quando a frequência de entrada (RF) está em 1GHz.

Figura 27 - Figura de Ruído.



Fonte: Autor

A isolação é uma característica que se deseja obter uma intensidade grande, para que não haja interferência do oscilador local (OL) no sinal de entrada e nem no sinal de saída. Quanto maior a isolação, menor a interferência do oscilador local nos sinais de interesse. A figura 28 apresentam os resultados simulados de isolação, dados em dB, do misturador, entre a entrada do oscilador local (OL) e a saída (*Output*) e entre o OL e a entrada (*Input*)

Figura 28 – Isolação.

Isolação do OL para Output (dB)	Isolação do OL para Input (dB)
P_LO2IF	P_LO2RF
59.7	62.1

Fonte: Autor.

Estes resultados obtidos nessa seção foram coerentes a bibliografia utilizada, portanto este trabalho pode ser usado como base para estudos e desenvolvimento de um misturador de Tayloe.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com o estudo realizado foi possível compreender a origem dos sistemas de Rádio Definido por Software (RDS), entender o seu princípio de funcionamento, conhecer suas limitações e compreender as funções de cada bloco que o compõem, dentre eles, o misturador.

Foram apresentadas aqui neste trabalho a função de um misturador de frequências e alguns parâmetros que o definem, tais como: perda de conversão, isolamento e figura de ruído; bem como, os tipos de misturadores quanto ao seu balanceamento.

Foram estudados os transistores do tipo NMOS e PMOS de modo a utiliza-los como base para os circuitos que compõem o demultiplexador, bloco chave para a implementação do misturador de Tayloe, que foi objeto deste trabalho.

Foram estudadas a arquitetura e as características do misturador de Tayloe, bem como, implementado um misturador de Tayloe através do software *Advanced Design System* (ADS), utilizando inversores e chaves CMOS para o projeto do demultiplexador, que por fim resultou no misturador de Tayloe. Em seguida foram realizados vários testes através de simulações computacionais que apresentaram resultados coerentes com a literatura.

A utilização de transistores CMOS foi pensada para uma implementação prática do misturador em um circuito integrado de aplicação específica, utilizando processo de fabricação CMOS padrão.

REFERÊNCIAS

ARSLAN, Huseyin. *Cognitive Radio, Software Defined Radio and Adaptive Wireless Systems*, Springer. 2007.

BARROS, Leticia Garcia de. **O RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE**. UnB – Brasília-DF. 2007.

KENINGTON, P. B. **RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio**. Artech House, 2005.

HAYKIN, Saymon. *Cognitive Radio: Brain-empowered wireless communications*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2005.

MITOLA, J. **Software Radio Architecture**. Wiley, 2000.

NASCIMENTO, J. **TELECOMUNICAÇÕES**. Editora McGraw-Hill LTDA, São Paulo-SP. 1992.

RAZAVI, Behzad. *RF Microelectronics*. Prentice Hall PTR. 1998.

SANT'ANNA, Olga Regina da Silva. **ESTUDO SOBRE A TECNOLOGIA SDR E UMA PROPOSTA INICIAL PARA O FRONT-END DE RF**. UnB – Brasília-DF. 2002.

SILVER, J. P. **Gilbert Cell Mixer Design Tutorial**.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Keneth C. **Microeletrônica**. 5ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

TAYLOE, Dan. **Ultra Low Noise, High Performance, Zero IF Quadrature Product Detector and Preamplifier**. Março de 2003.

MARTINS, Everson. **Projeto De Misturador Com Topologia Célula De Gilbert Utilizando Phemt**. UNICAMP, Campinas – SP – Brasil. Outubro de 2002.