



**Universidade do Minho**

# **Projeto Prático**

## **Microdispositivos de RF para Comunicação sem Fios**

MIEEICOM /MIETI

2018/2019

Grupo 11

## Grupo de Trabalho



**Nome completo:** André Filipe Marques da Silva Machado

**E-mail:** [a66693@alunos.uminho.pt](mailto:a66693@alunos.uminho.pt)



**Nome completo:** Pedro Rafael Gonçalves Dourado

**E-mail:** [a77973@alunos.uminho.pt](mailto:a77973@alunos.uminho.pt)



**Nome completo:** Pedro Rafael Carvalho Miranda

**E-mail:** [a79662@alunos.uminho.pt](mailto:a79662@alunos.uminho.pt)



**Nome completo:** Pedro Alexandre Morais Alves

**E-mail:** [a61893@alunos.uminho.pt](mailto:a61893@alunos.uminho.pt)

## Índice

Introdução.....	5
Abordagem ao problema .....	6
Sistema de comunicação.....	9
Transmissor .....	9
Recetor .....	12
Link Budget.....	17
Análise de resultados .....	19
Conclusão .....	20
Referência .....	21

## Índice de figuras

Figura 1 - Processo Downconversion e UpConversion.....	7
Figura 2 - Circuito Upconverter.....	7
Figura 3 - Circuito Downconverter.....	8
Figura 4 - Transmissor do sistema.....	9
Figura 5 - Sinal inicial do transmissor.....	10
Figura 6 - Sinal na saída do combiner.....	10
Figura 7 - Sinal obtido após o mixer.....	11
Figura 8 - Sinal obtido após a utilização do filtro bandpass.....	11
Figura 9 - Recetor do sistema.....	12
Figura 10 - Sinal obtido após a receção pela antena.....	13
Figura 11 - Sinal obtido após Combiner com interferência.....	13
Figura 12 - Sinal obtido após a filtragem da interferência.....	14
Figura 13 - Sinal obtido após inserção do amplificador.....	15
Figura 14 - Sinal após inserção do oscilador local.....	15
Figura 15 - Esquema Link Budget.....	17
Figura 16 - Sinal obtido no recetor.....	19

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 - Tabela dos diferentes ganhos por componente (Link Budget). .....	18
---	----

# Introdução

No âmbito da Unidade Curricular de “Microdispositivos RF para Comunicação Sem Fios”, inserida no Mestrado Integrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática, foi proposta a elaboração de um sistema de comunicações sem fios na qual se pretende adquirir dados com um sensor.

Para tal, o sistema tem de obedecer a um conjunto de especificações pré-definidas, onde cada grupo possui um conjunto de valores distintos. O sinal inicial deverá ser uma senoide com uma frequência de 1MHz e potência de 0 dBm e no sinal de saída deverá se encontrar o sinal com potência mínima de -10 dBm, em que os restantes sinais do espectro devem estar no mínimo 40 dB abaixo do sinal desejado. Este sistema deverá ainda ser constituído por um *upconverter*, na transmissão, e ainda por um *downconverter* na receção. A frequência do oscilador local é um dos parâmetros que difere pelos grupos, sendo que, a frequência atribuída ao nosso grupo é de 900 MHz e ainda deverá se encontrar presente um 2º harmónico do oscilador com uma potencia inferior a 20 dB face à frequência fundamental. O ganho das antenas está especificado com 12 dBi e o *free space loss* deverá ser calculado tendo em conta a distância de 55 metros.

É suposto que se introduza a interferência com uma frequência de 3200 MHz e potência de -35dBm para ser filtrada posteriormente.

Uma vez que ao longo do sistema o sinal sofre perdas, serão adicionados amplificadores com potência de 30 dB.

Este sistema por sua vez vai ser simulado com recurso ao NI AWR Design Environment da empresa National Instruments, que possibilita aos utilizadores a simulação de sistemas radio frequência ou micro-ondas, com recurso a diferentes tecnologias de simulação que podem ser posteriormente utilizadas para uso de fabricação. A plataforma ajuda os projetistas a gerir todo o processo de modelagem, simulação e verificação de circuitos integrados (IC), abordando todos os aspetos do comportamento do circuito de forma a obter desempenho ideal e resultados confiáveis. [1]

Este relatório relata todas as decisões e ações realizadas no âmbito do desenvolvimento deste projeto. No final são ainda apresentados os resultados e a respetiva análise aos mesmos.

## Abordagem ao problema

O objetivo deste trabalho prático passa pela aquisição de dados, através de um sensor, e a transmissão desses mesmos através de um sistema sem fios. Os dados recolhidos pelo sensor são representados por uma senoide com uma frequência de 1 MHz e potência de 0 dBm. A transferência do sinal é realizada através do sistema de comunicação sem fios, composto por 2 partes. No lado do transmissor temos um *upconverter* (figura 1) e o lado do recetor é constituído por um *downconverter*, (figura 2) funcionando ambos nas frequências desejadas.

Os *upconverters* e os *downconverters* RF são conjuntos integrados idealizados para produzir um sinal de saída para uma banda de frequência específica. Os *upconverters* RF são projetados com o intuito de converter o sinal para uma faixa de frequência mais alta. Os *downconverters* RF são projetados de forma converter o sinal para uma frequência intermediária (IF). [2]

O sinal passa por um mixer que mistura o sinal de RF, recebido no domínio do tempo, com uma frequência de referência do oscilador local.

Estes dispositivos têm um amplificador responsável por modificar a potência do sinal recebido, devido às perdas ocorridas ao longo da transmissão. Uma vez que ao longo do sistema o sinal sofre perdas, serão adicionados amplificadores com potência de 30 dB.

No sistema foi ainda introduzida uma interferência com uma frequência de 3200 MHz e potência de -35dBm, para ser filtrada posteriormente, que é retratada com maior detalhe nos capítulos que se seguem.

Na saída deste sistema, é esperada a obtenção de um sinal com uma potência mínima de -10 dBm.

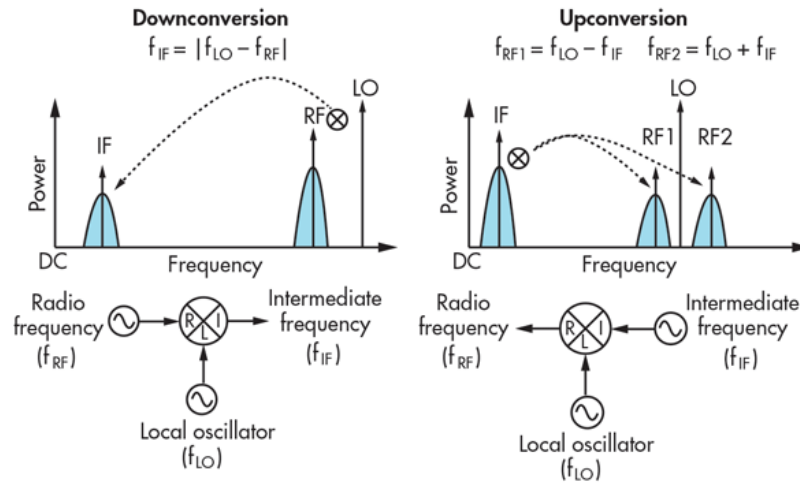


Figura 1 - Processo Downconversion e UpConversion.

Quando é realizada uma *downconversion*, um sinal de entrada entra na porta RF e um sinal LO entra na porta LO. Esses dois sinais de entrada produzem um sinal de saída na porta IF. A frequência deste sinal de saída é igual à diferença da frequência do sinal de entrada RF e da frequência do sinal LO.

No caso de uma *upconversion*, um sinal de entrada entra na porta IF e um sinal LO entra na porta LO. Esses dois sinais de entrada produzem um sinal de saída na porta RF. A frequência deste sinal de saída é igual à soma da frequência do sinal de entrada IF e da frequência do sinal LO. Tanto a *downconversion* como a *upconversion* são mostradas graficamente na figura acima, normalmente *upconversion* é parte de um transmissor e a *downconversion* usado num recetor. [3]

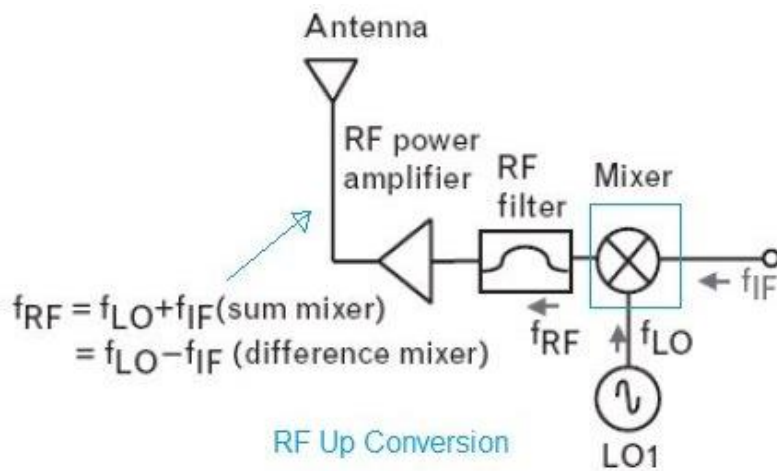


Figura 2 - Circuito Upconverter.



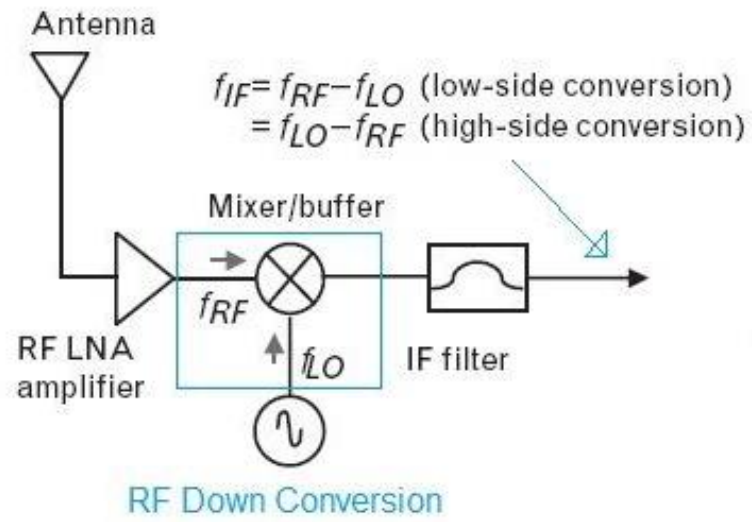


Figura 3 - Circuito Downconverter.

# Sistema de comunicação

## Transmissor

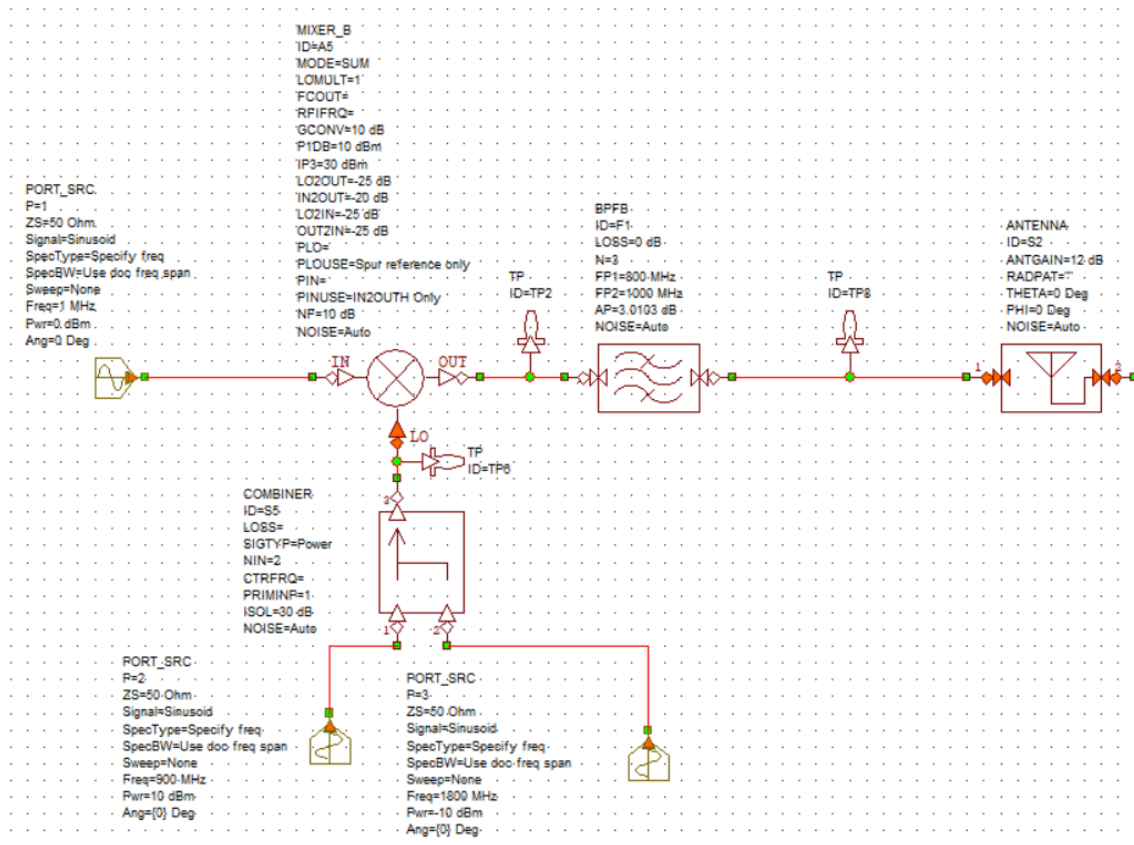


Figura 4 - Transmissor do sistema.

O sistema de comunicação foi implementado com recurso ao programa NI AWR. Neste programa começou-se por inserir uma “Port\_SRC” de forma a produzir uma senoide com 1 MHz e 0 dBm de potência.

Ao longo do esquema introduziu-se diversas “Test points” de forma a visualizar se o sinal apresenta o seu correto funcionamento. Na seguinte figura pode-se visualizar o sinal de origem.

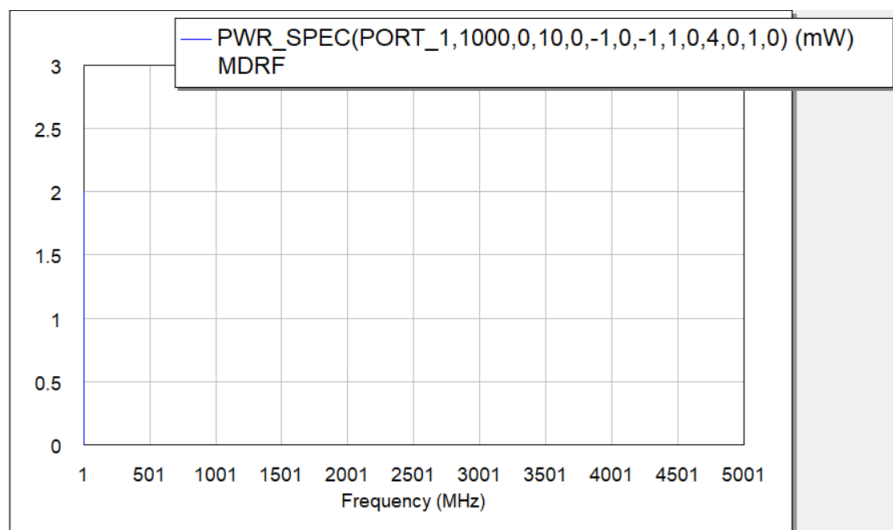


Figura 5 - Sinal inicial do transmissor.

De seguida Implementou-se um Upconverter e como tal utilizou-se novamente dois “Port\_SRC” para gerar os dois harmónicos pedidos no enunciado. O *Combiner* combina os 2 harmónicos, do qual resulta apenas um, o 1º sinal com 900 MHz e 10 dBm de potência e o segundo harmónico com uma frequência 1800 MHz e -10 dBm, que representam o oscilador local. Estas potências foram definidas tendo em conta a diferença fundamental e as frequências tendo por base o especificado na tabela, onde a frequência do 2º harmónico é definida como o dobro da frequência fundamental. Com a seguinte figura pode-se visualizar a combinação entre os dois sinais em 900Mhz e 1800Mhz.

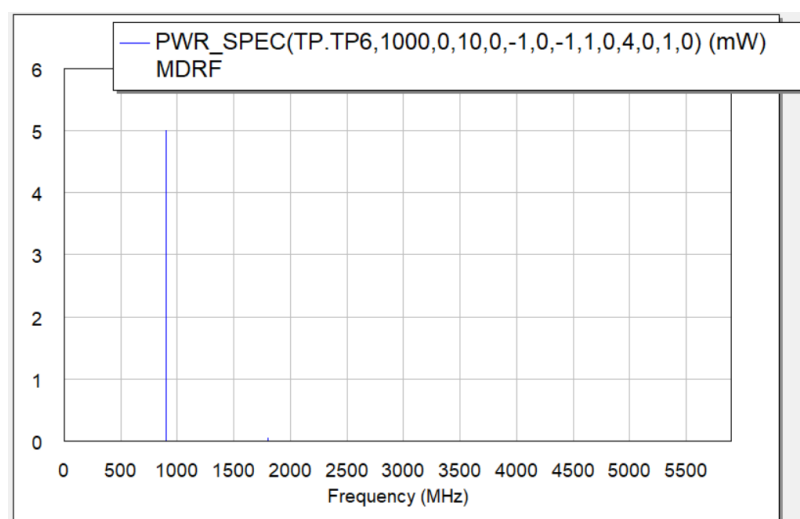


Figura 6 - Sinal na saída do combiner.

O *upconverter* é constituído por um *mixer*, que recebe o sinal combinado proveniente do *combiner*. Onde o funcionamento deste é explicado na secção anterior. Obteve-se desta forma o seguinte um sinal.

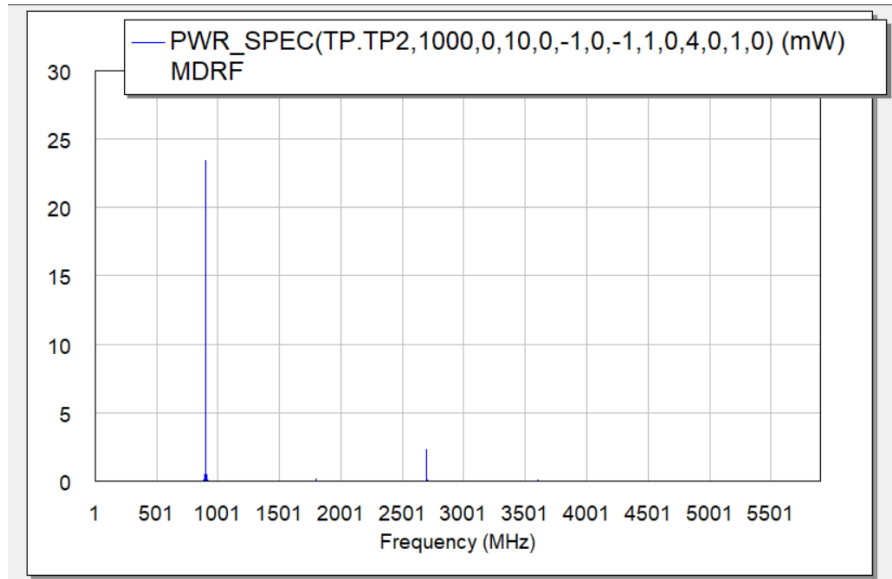


Figura 7 - Sinal obtido após o mixer.

Antes da transmissão do sinal, este passa por um filtro passa-banda Butterworth, configurado entre os 800 MHz e os 1000 MHz de forma a remover o 2º harmónico introduzido.

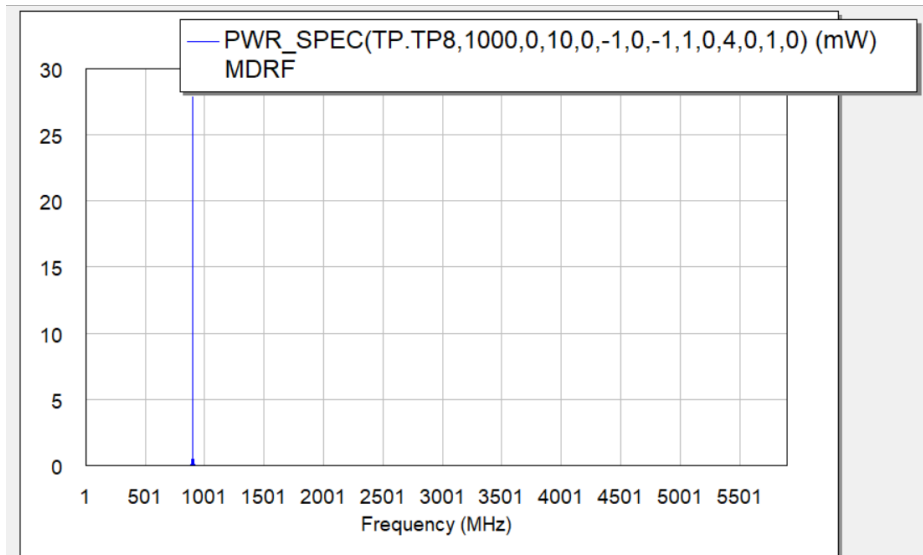


Figura 8 - Sinal obtido após a utilização do filtro bandpass.

A antena, para a transmissão, é configurada para dar um ganho de 12 dBi e simular uma distância de 55m entre antenas, parâmetros utilizados para calcular o *Free Space Loss*.

$$\text{Free space loss (L}_{\text{dB}}\text{)} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{(4\pi f d)^2}{c^2} = 10 \log \frac{(4\pi * (901 * 10^6) * 55)^2}{(3 * 10^8)^2} = 66.34$$

Apesar de serem necessárias duas antenas, uma para a transmissão e outra para a recepção, neste ambiente de simulação apenas é necessário o uso de uma antena, pois esta é bidirecional permitindo assim simular o funcionamento das duas.

Os sinais dependem do meio onde se propagam afetando a sua propagação em espaço livre, como: a reflexão, a refração, o scattering, a difração e o shadowing. A reflexão ocorre quando um sinal de RF incide sobre diferentes obstáculos que têm dimensões muito largas quando comparado ao comprimento de onda do sinal [4]. Dependendo da superfície do obstáculo, a potência do sinal pode ser afetada. Quando este sinal é alterado, este pode chegar ao emissor, de volta, e causar danos em equipamentos de valor elevado. Uma forma de controlar o valor da potência é através da impedância, ao lhe atribuir o valor de 50 Ohm.

## Recetor

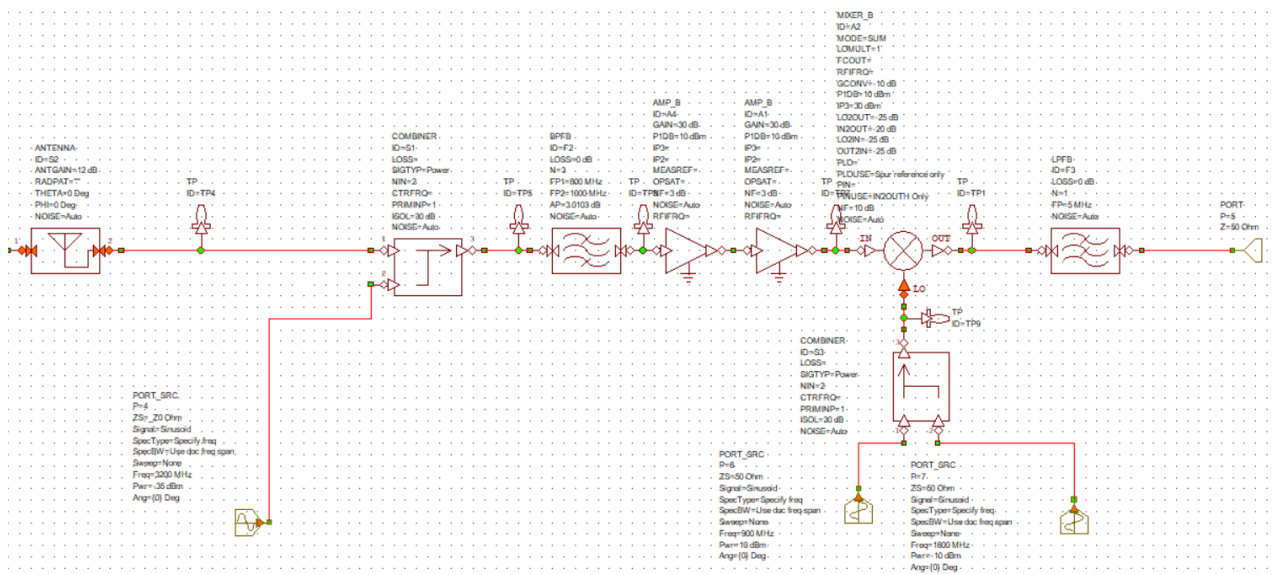


Figura 9 - Recetor do sistema.

Na figura seguinte é possível observar o sinal recolhido após a receção pela antena, que tal como esperado, devido ao *Free Space Loss*, apresenta menor potência que o sinal enviado.

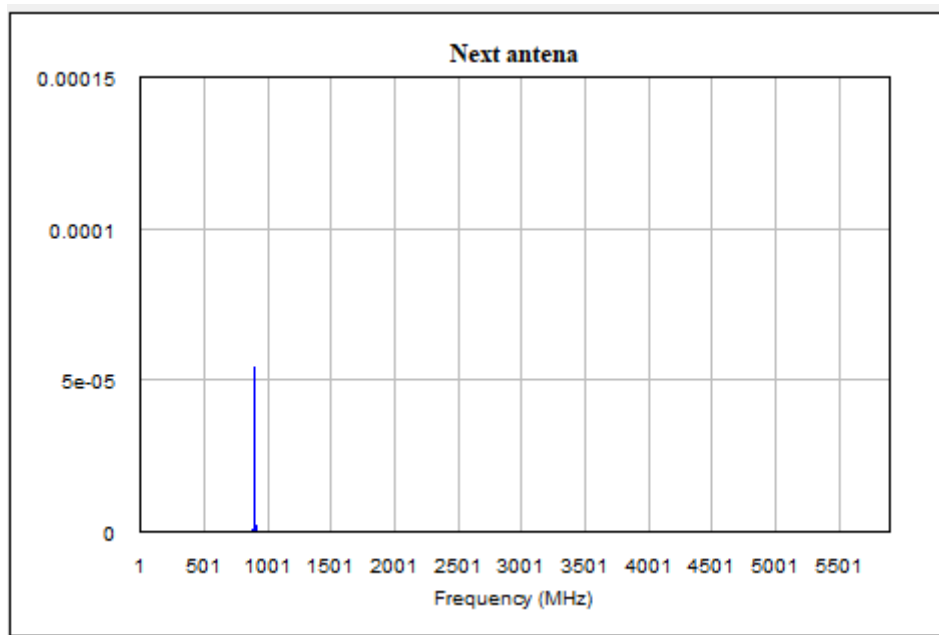


Figura 10 - Sinal obtido após a recepção pela antena.

Com recurso à utilização de um Combiner é introduzida a interferência, cujo valor é de 3200 MHz, adicionando ao sinal recolhido pela antena, como pode ser visto na figura seguinte.

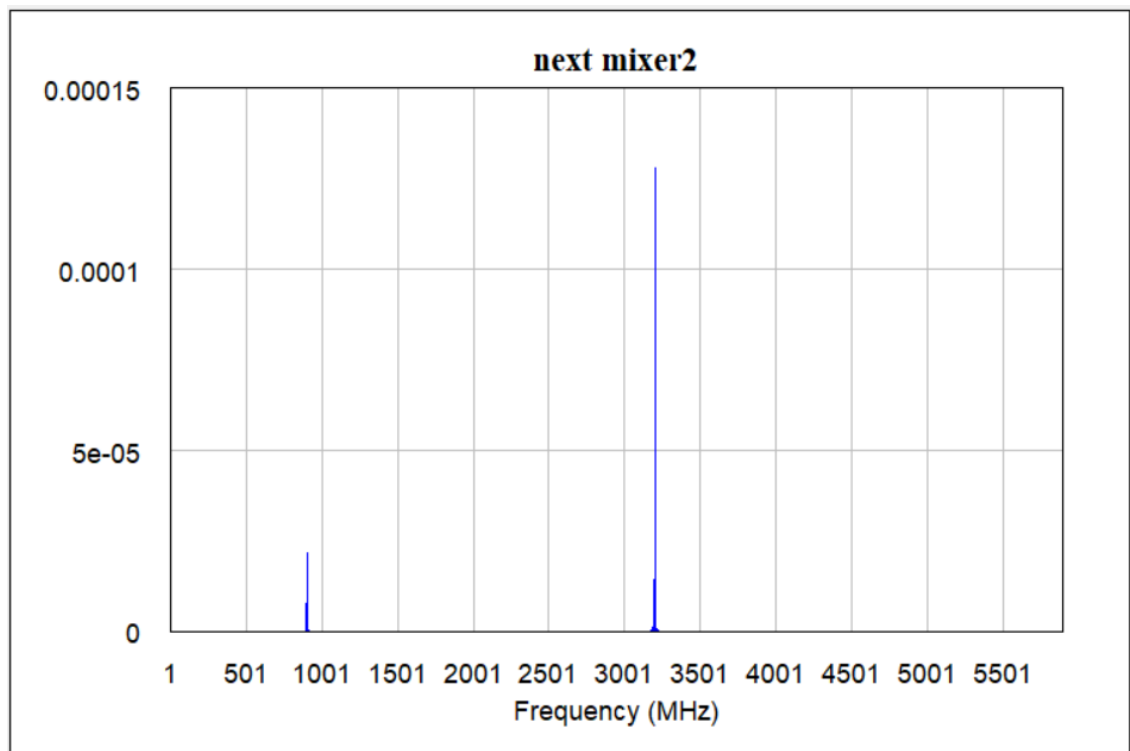
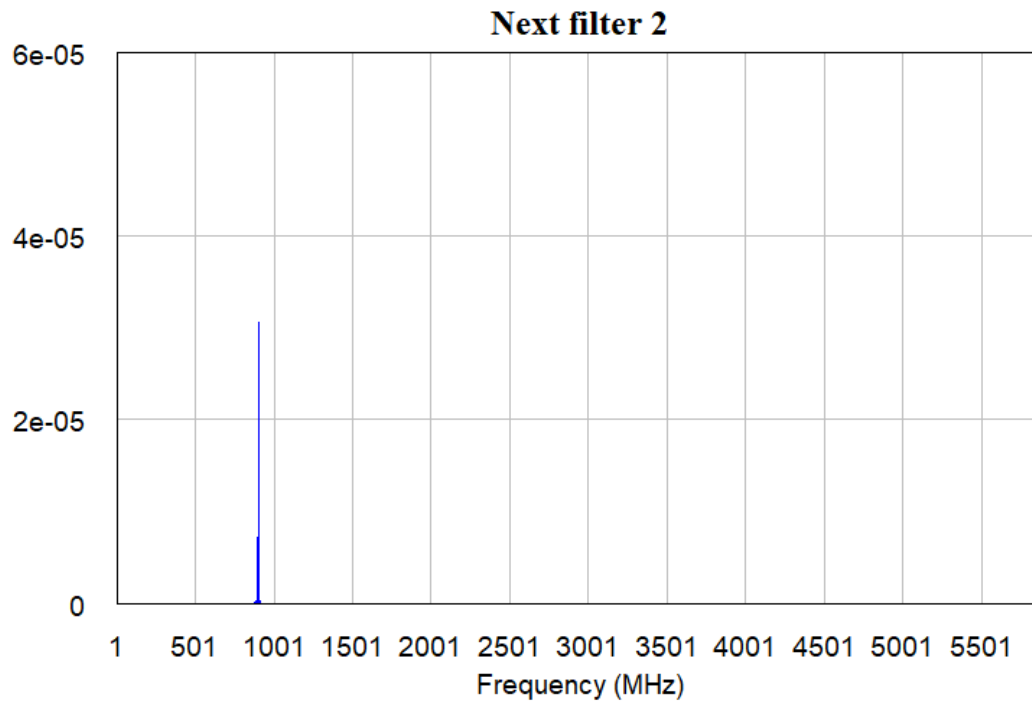


Figura 11 - Sinal obtido após Combiner com interferência.

O sinal resultante é filtrado, através da utilização de um filtro passa-banda, com valores de janela entre 800 e 1000 MHz, uma vez que a frequência do oscilador está localizada entre esta gama.



*Figura 12 - Sinal obtido após a filtragem da interferência.*

Verificou-se que após a transmissão do sinal a potência diminuiu, levando à necessidade de utilização de dois amplificadores, com ganho de 30 dB cada, como indicado no enunciado, compensando assim as perdas existentes.

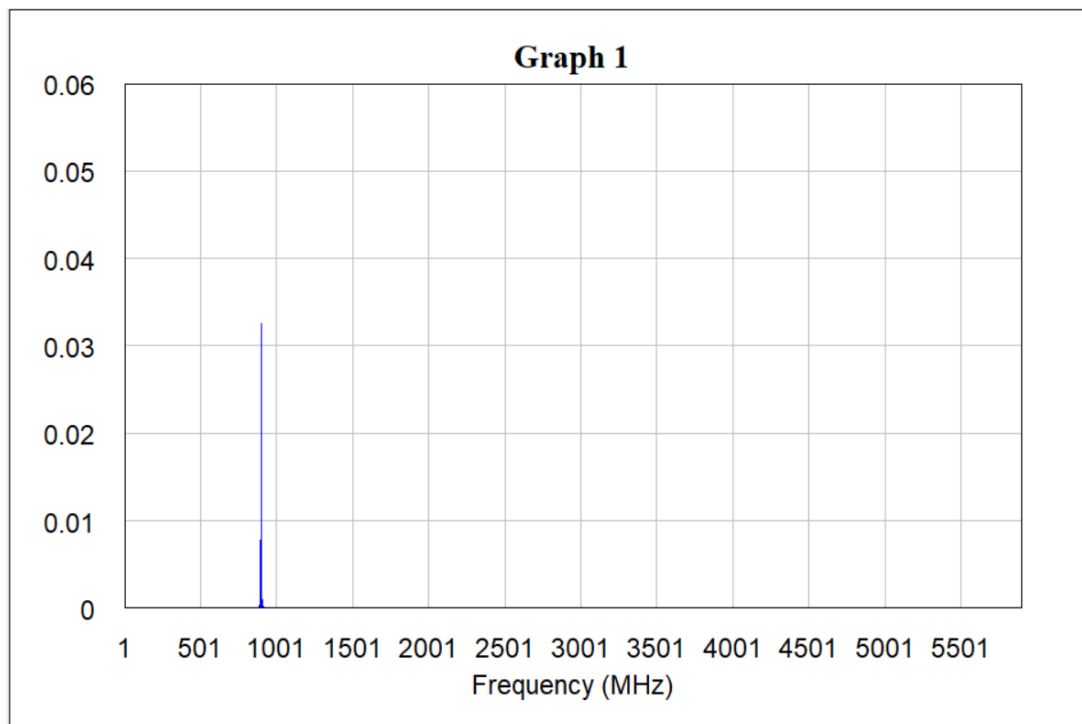


Figura 13 - Sinal obtido após inserção do amplificador.

O Mixer recebe o sinal proveniente de um Combiner, onde é introduzido o oscilador local, constituído pelo sinal da frequência fundamental e pelo sinal do segundo harmónico.

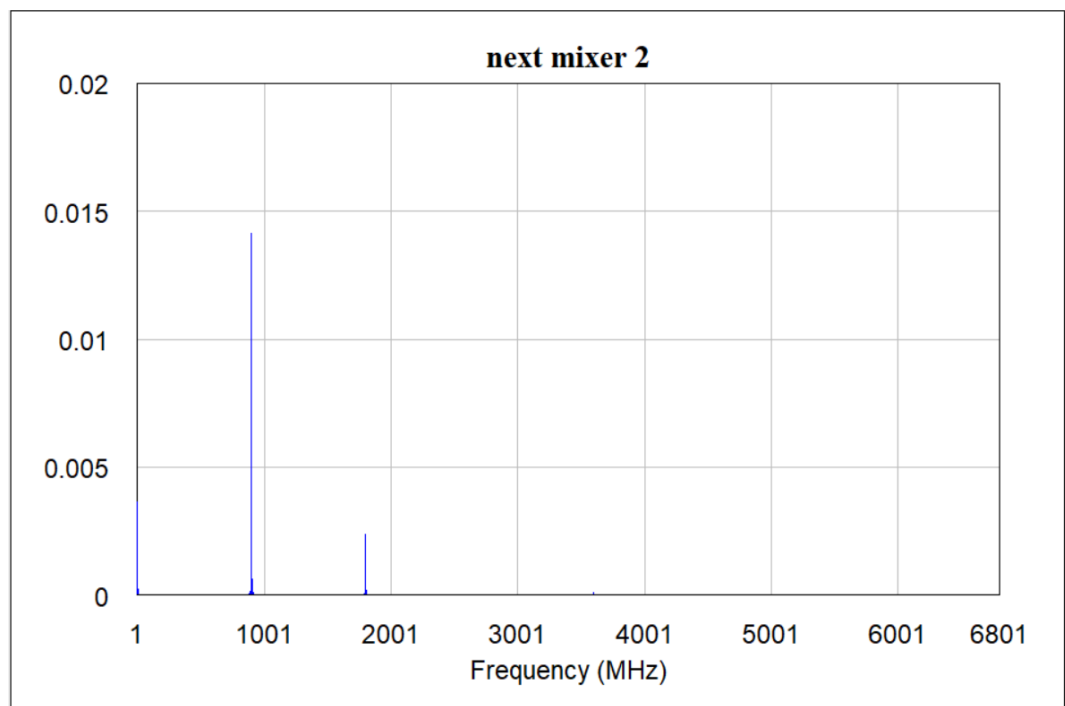


Figura 14 - Sinal após inserção do oscilador local.



Por fim, antes da obtenção do sinal final, o filtro passa-baixo Butterworth realiza a atenuação da amplitude das frequências.

## Link Budget

O conceito de Link Budget é definido como a potência de sinal recebida no recetor, sendo obtido pela soma de todos os ganhos e perdas dos componentes que constituem o sistema, sendo incluídas as perdas em espaço livre, nos cabos e noutros componentes pertencentes ao circuito emissor e recetor, ganhos das antenas e dos amplificadores.

A equação simples de um Link Budget é a seguinte:

- Received Power (dB) = Transmitted Power (dB) + Gains (dB) – Losses

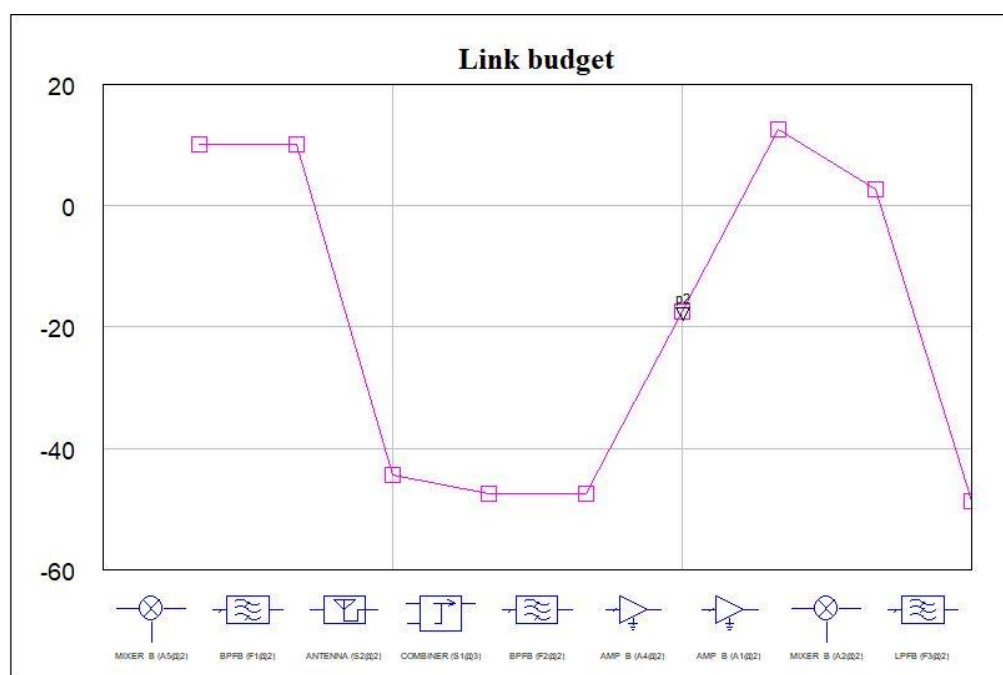


Figura 15 - Esquema Link Budget.

Este esquema foi obtido no AWR, através de um gráfico inserido desde o "Port 1" até ao "Port 5".

Tabela 1 - Tabela dos diferentes ganhos por componente (Link Budget).

Componente	Ganho (dB ou dBi)
Mixer_A5	9.98
BPFB_F1	0
Antena_S2	12
Free Space Loss	-66.35
Combiner_S1	-3,01
BPFB_F2	-0.01
Amplificador_A4	30
Amplificador_A1	30
Mixer_A2	-10.02
LPFB_F3	-51.13

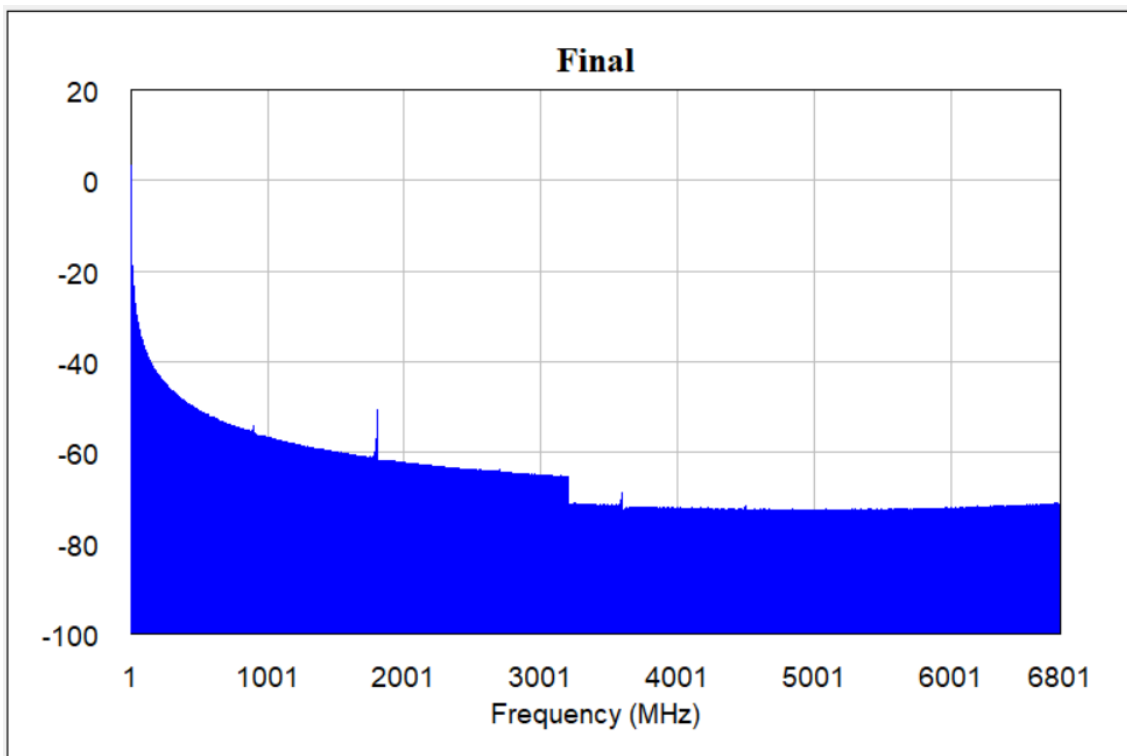
Analisado o *Link Budget* do nosso sistema conseguiu-se perceber quais os ganhos em cada componente, de forma a facilitar a obtenção de um sinal com diferente potência daquela que foi obtida. Para variar a potência pode-se alterar, ao longo do sistema, diversos parâmetros, distância ou *free path loss* entre as antenas transmissora e recetora, ganho das antenas, bem como introduzir amplificadores ou alterar os que já fazem parte do sistema.

Dando como exemplo a obtenção de um sinal final com uma potência de -10 dBm poder-se-ia aumentar o ganho de 38.54 dBm no Amplificador\_A1.

## Análise de resultados

Analisando o seu resultado é de reparar a existência de picos nas frequências de 1 MHz, 897 MHz e 1801 MHz. Estas frequências correspondem, respetivamente, ao sinal inicial, ao primeiro harmónico (frequência fundamental) e ao segundo harmónico.

Os valores da potência, obtida nos picos do sinal recebido, verificamos que em 1 MHz o sinal final possui uma potência de 3.243 dBm. Comparando este valor com os dos restantes picos, existe uma diferença superior 40 dB, quando comparado com o pico seguinte (897 MHz). Para o pico correspondente à frequência de 1801 MHz, foi registada a potência de -50.46 dBm. Todos os valores registados encontram-se em conformidade com o enunciado, tal como a potência mínima ser superior a -10 dBm e os restantes sinais do espetro estarem 40 dB abaixo do pretendido.



*Figura 16 - Sinal obtido no recetor.*

## Conclusão

Neste projeto, onde se pretendia a elaboração de um sistema de comunicações sem fios, alguns dos primeiros obstáculos encontrados pelo grupo prenderam-se com a utilização do AWR, pois é um *software* que nenhum dos elementos do grupo utilizou antes.

Para uma correta utilização deste software foi necessária a leitura de vários manuais, de forma a conseguirmos testar todo sistema passo a passo, analisar os resultados que íamos obtendo e tirar conclusões de todos esses resultados, bem como, obter os vários gráficos necessários para essa interpretação. Ainda assim, apesar destes obstáculos o grupo julga tê-los conseguido ultrapassar com sucesso e assim conseguir um bom resultado.

Uma das coisas que verificamos durante este trabalho tem a ver com o cálculo do *free path loss*, pois durante as aulas falou-se em calculadoras *online*, mas durante a realização do trabalho não concordamos com os valores obtidos, através dessas calculadoras, e sendo assim o grupo optou por utilizar a fórmula dada nas aulas, de forma a obter um valor satisfatório.

Por fim, analisando os resultados obtidos verificamos que estavam dentro do que era pedido, pois a potência mínima é inferior a  $-10$  dBm e os restantes sinais estão 40 dB abaixo do pretendido. Verificamos também a existência de picos nas frequências correspondentes ao sinal inicial, primeiro harmónico e segundo harmónico.

Por tudo isto podemos concluir que estamos satisfeitos com o resultado deste trabalho, pois consideramos que conseguimos atingir o que era pretendido.

## Referência

- [1] “NI AWR Design Environment.” [Online]. Available: <https://www.awr.com/software/products/ni-awr-design-environment>. [Accessed: 08-Nov-2019].
- [2] “RF Upconverters and RF Downconverters Information.” [Online]. Available: [https://www.globalspec.com/learnmore/communications\\_networking/rf\\_microwave\\_wireless\\_components/rf\\_upconverters\\_downconverters\\_digital\\_down\\_converters](https://www.globalspec.com/learnmore/communications_networking/rf_microwave_wireless_components/rf_upconverters_downconverters_digital_down_converters). [Accessed: 07-Nov-2019].
- [3] “Millimeter wave up converter | Millimeter wave down converter design.” [Online]. Available: <https://www.rfwireless-world.com/Articles/Millimeter-wave-up-converter-and-down-converter-design.html>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [4] “Redes Wireless – Parte III.” [Online]. Available: <https://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless003.asp>. [Accessed: 08-Nov-2019].