

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Bernardo Dambrós Neckel

ANTENA DE RECEPÇÃO PARA TV DIGITAL COM  
ROTAÇÃO AUTOMÁTICA

Passo Fundo

2017

Bernardo Dambrós Neckel

# ANTENA DE RECEPÇÃO PARA TV DIGITAL COM RO- TAÇÃO AUTOMÁTICA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine.

Passo Fundo

2017

Bernardo Dambrós Neckel

**Antena de recepção para tv digital com rotação automática**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine - UPF

---

Prof. Dr. Jocarly Patrocínio de Souza - UPF

---

Prof. Me. Edson Santos Acco - UPF

Dedico este trabalho a minha família por sempre me apoiar na busca dos meus objetivos, e em especial a minha mãe, Marlides, por dedicar sua vida à dar-me oportunidades e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelas conquistas até o momento, e peço a Ele sabedoria para conquistar muito mais.

A minha mãe, Marlides Dambrós, que abdicou de muitos desejos para realizar o melhor para mim. Obrigado por nunca deixa-me desamparado e ser um exemplo de pessoa e profissional que me inspira a alcançar meus sonhos.

A minha família, que reúne um núcleo de apoio, companheirismo e ensinamentos de vida, em especial aos meus avós, Carlos e Nair Dambrós, que foram fundamentais na minha formação. A minha irmã, Bruna Dambrós Neckel, por dedicar-se a me ajudar, sempre. A minha tia e minha afilhada, Carla e Manuela Dambrós, por auxiliar e torcer pelas minhas conquistas.

Ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Alberto Ramirez Behaine, por compartilhar seu tempo e atenção e à dedicação com este projeto.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica por compartilharem de maneira brilhante todo conhecimento que faz de vocês nossos exemplos de profissionais.

A todos que contribuíram comigo e com a minha trajetória acadêmica até o término deste, meu agradecimento sincero. Muito Obrigado.

*"A arte de interrogar não é tão fácil como se pensa. É mais uma arte de mestres do que de discípulos; é preciso ter aprendido muitas coisas para saber perguntar o que não se sabe."*

(Jean-Jacques Rousseau)

## RESUMO

A televisão vem passando por uma evolução em nosso país, isto porque desde 2007 vem sendo implantada a transmissão de TV digital, e aos poucos sendo eliminados os canais analógicos de TV. Dessa forma os usuários terão que se adaptar a evolução, pelo fato de que a nova forma de transmissão tem menos abrangência do que a antiga. Visando isto, este projeto pretende auxiliar nesta evolução aumentando a qualidade na recepção dos sinais, com a construção de uma antena receptora, específica para a receber as ondas dos sinais digitais de TV, além disso, esta antena é automatizada, de modo que não recebendo o sinal do canal desejado, ela gire no próprio eixo até que encontre o sinal pretendido pelo usuário, caso possível. A sintonização será obtida através do nível do sinal de imagem que está sendo enviado por um receptor de TV digital, de modo com que quando nenhum sinal de imagem está sendo enviado a antena seja rotacionada, para que possa sintonizar o canal desejado. A rotação da antena é feita por um motor de passo controlado por um microcontrolador. Na fundamentação teórica deste projeto são apresentados alguns conceitos sobre eletromagnetismo e fundamentos das antenas. O presente trabalho contém todos os cálculos necessários para a construção de uma antena log-periódica de recepção para as frequências entre 470 MHz e 890 MHz, bem como toda a teoria por trás da construção de seus circuitos analógicos usados na automatização da antena. Os resultados obtidos com os testes desse projeto comprovaram a sua eficácia, e a importância do uso de uma antena para a sintonização dos canais de TV digital em Passo Fundo, bem como a qualidade da antena especificada para o caso, que foi capaz de sintonizar facilmente todos os canais disponíveis na região. Também foi provada a funcionalidade dos circuitos projetados para a automatização da antena.

Palavras-chave: antena, TV digital, fundamentos de antena, antena log-periódica.

## ABSTRACT

The television has been going through an evolution in our country, because since 2007 the digital TV transmission has been implemented, and TV analogue channels are gradually being eliminated. This way users will have to adapt to evolution, because the new form of transmission has less scope than the old one. Aiming at this, this project intends to assist in this evolution by increasing the quality of reception of the signals, with the construction of a receiver antenna, specific to receive the waves of the digital signals of TV, in addition, this antenna is automated, so that not receiving the signal from the desired channel, it rotates on the axis itself until it finds the desired signal by the user, if possible. In the theoretical basis of this project are presented some concepts about electromagnetism and fundamentals of antennas. The present work contains all the calculations required for the construction of a log-periodic receiving antenna for the frequencies between 470 MHz and 890 MHz, as well as the whole theory behind the construction of its analog circuits used in the automation of the antenna. All this to make possible the right of information in distant areas of large centers, which consequently are far from transmission antennas and risk losing this right, which is guaranteed in the Brazilian Constitution, and to improve the quality of signals received within the areas covered by the broadcasts but suffering from interference caused by various reasons. The results obtained with the tests of this project prove their effectiveness, and the importance of the use of an antenna for the tuning of the digital TV channels in Passo Fundo, as well as the quality of the antenna specified for the case, which was able to easily tune all channels available in the region. The functionality of the circuits designed for the automation of the antenna has also been proven.

Keywords: Antenna, digital TV, antenna basics, log-periodic antenna.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ONDA ELETROMAGNÉTICA, SENDO CAMPO ELÉTRICO (E), CAMPO MAGNÉTICO (B) E VELOCIDADE (V)...	17
FIGURA 2 – CONSEQUÊNCIAS DA REFLEXÃO DO SINAL.....	20
FIGURA 3- REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	21
FIGURA 4 – DIFRAÇÃO DE UMA ONDA EM UMA MONTANHA.....	21
FIGURA 5– REGIÕES DE CAMPO DE UMA ANTENA.....	23
FIGURA 6- DIAGRAMA DE RADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL.....	24
FIGURA 7- DIAGRAMA DE RADIAÇÃO BIDIMENSIONAL.....	25
FIGURA 8- DIAGRAMA DE RADIAÇÃO OMNIDIRECIONAL.....	27
FIGURA 9 – SUPOSTO EXEMPLO DA ABRANGÊNCIA DE UMA TRANSMISSÃO E DE UMA RECEPÇÃO DE SINAL.....	29
FIGURA 10- ANTENA YAGI-ÚDA.....	30
FIGURA 11- DIAGRAMA DE DIRETIVIDADE PARA ANTENA YAGI-ÚDA.....	31
FIGURA 12- ESQUEMATIZAÇÃO DE UMA ANTENA LOG-PERIÓDICA.....	32
FIGURA 13- DIAGRAMA DE DIRETIVIDADE PARA UMA LOG-PERIÓDICA.....	33
FIGURA 14- FLUXOGRAMA GERAL DO PROJETO.....	34
FIGURA 15- EXEMPLO DE ANTENA LOG PERIODICA.....	35
FIGURA 16- CONVERSOR DIGITAL DE TV INTELBRAS CD 636.....	36
FIGURA 17- EXEMPLO DE MOTOR DE PASSO.....	37
FIGURA 18 – PLACA LAUCHPAD EVALUATION.....	38
FIGURA 19- SINAL DE VÍDEO COMPOSTO.....	39
FIGURA 20- RELAÇÃO ENTRE FATOR DE ESCALA E ESPAÇAMENTO RELATIVO PARA GANHOS ESPECÍFICOS.....	40
FIGURA 21- PARÂMETROS DE MEDIDAS DE UMA ANTENA LOG-PERIÓDICA.....	41
FIGURA 22-CURVAS DE ESPAÇAMENTO RELATIVO MÉDIO.....	43
FIGURA 23: ANTENA DESENVOLVIDA.....	46
FIGURA 24- SINAL DE VÍDEO COMPOSTO NA SAÍDA DO RECEPTOR, QUANDO O SINAL ESTÁ SENDO CAPTADO.....	47
FIGURA 25- SINAL DE VÍDEO COMPOSTO NA SAÍDA DO RECEPTOR, QUANDO O SINAL NÃO ESTA SENDO CAPTADO ..	47
FIGURA 26- SINAL FILTRADO PELO DETECTOR DE ENVOLTÓRIA.....	49
FIGURA 27 - SINAL ENVIADO AO MICRO.....	50
FIGURA 28- CIRCUITO DE INTERFACE RECEPTOR/MICRO.....	50
FIGURA 29 -FLUXOGRAMA DO FIRMWARE.....	51
FIGURA 30-CONFIGURAÇÃO DARLINGTON DE TRANSISTORES.....	53
FIGURA 31-CIRCUITO DE POTÊNCIA PARA CONTROLE DO MOTOR.....	54
FIGURA 32-TESTES NO ANALISADOR DE ESPECTRO.....	55
FIGURA 33-ESPECTRO DA RBS TV.....	56
FIGURA 34- IMAGEM REDE RANDEIRANTES.....	56
FIGURA 35- IMAGEM RBS TV.....	56
FIGURA 36- IMAGEM REDE RECORD.....	57
FIGURA 37- IMAGEM REDE VIDA.....	57
FIGURA 38-IMAGEM SBT.....	57

FIGURA 39- DIREÇÃO DA ANTENA .....	58
FIGURA 40-SINAL ENVIADO QUANDO A ANTENA ESTÁ NA POSIÇÃO CERTA .....	59
FIGURA 41-SINAL ENVIADO QUANDO A ANTENA NÃO ESTÁ NA POSIÇÃO CERTA .....	59
FIGURA 42-PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO .....	60
FIGURA 43- VISTA SUPERIOR DA ANTENA .....	70
FIGURA 44- VISTA LATERAL E FRONTAL DA ANTENA .....	71
FIGURA 45- VISTA SUPERIOR DAS DUAS PARTES DA ANTENA SEPARADAS .....	72

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1-FREQUÊNCIAS UTILIZADAS EM TELECOMUNICAÇÕES .....	19
TABELA 2 -MEDIDAS DA ANTENA .....	46
TABELA 3 - SEQUÊNCIA DE PULSOS PARA O GIRO DO MOTOR NO SENTIDO HORÁRIO .....	52
TABELA 4- SEQUÊNCIA PARA GIRO DO MOTOR NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS

E.L.F – Extremely Low Frequency

V.L.F – Very Low Frequency

L.F – Low Frequency

M.F – Médium Frequency

H.F – High Frequency

V.H.F – Very High Frequency

UHF – Ultra Hight Frequency

S.H.F – Super High Frequency

E.H.F – Extremely High Frequency

HPBW – Largura de feixe de meia potência

FNBW – Largura de feixe dos primeiros nulos do sistema

RBS TV – Rede Brasil Sul de Televisão

V – Volts

A - Ampere

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 ELETROMAGNETISMO .....	17
2.2 FENÔMENOS DE PROPAGAÇÃO .....	19
<b>2.2.1 Reflexão e Refração .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Difração .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3 Atenuação .....</b>	<b>22</b>
2.3 PARAMETROS FUNDAMENTAIS DE ANTENAS .....	22
<b>2.3.1 Regiões do Campo .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Diagrama de Radiação .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3 Diretividade.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.4 Ganho.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.5 Largura de Banda.....</b>	<b>28</b>
2.4 ANTENAS.....	29
<b>2.4.1 Antena Yagi-Uda .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Antena Log-Periódica.....</b>	<b>32</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>

3.1 ANTENA.....	35
3.2 RECEPTOR DIGITAL.....	36
3.3 ATUADOR.....	36
3.4 MICROCONTROLADOR.....	37
<b>3.4.1 Interface Receptor/Micro.....</b>	<b>38</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>40</b>
4.1 ANTENA.....	40
4.2 CIRCUITO DE INTERFACE.....	47
4.3 FIRMWARE.....	50
4.4 CIRCUITO DE POTÊNCIA.....	52
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
5.1 TESTES DA ANTENA.....	55
5.2 ANALISE DOS SINAIS DO CIRCUITO DE INTERFACE.....	58
5.3 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO.....	59
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE A FIRMWARE.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE B DIMENSÕES DA ANTENA.....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE C DIMENSÕES DA ANTENA.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE D DIMENSÕES DA ANTENA.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A televisão é um dos maiores meios de comunicação em massa de todo o mundo, através dela as pessoas se informam sobre as atualidades pelos noticiários, aprendem com programas educativos, adquirem cultura por meio de programas de diversidades e até mesmo passam momentos de lazer por meio de programas de humor ou por esportes transmitidos ao vivo.

No Brasil, segundo a “Pesquisa Brasileira de Mídia 2016”, que foi encomendada ao Ibope pela Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República, e divulgada no dia 19 de agosto de 2016, a televisão é o principal meio de comunicação para 63% dos entrevistados, mostrando assim a importância de tal equipamento para a sociedade.

Pelo fato deste meio de comunicação ter um importante caráter informativo e educativo, é de extrema importância que o telespectador tenha mais de um canal disponível para sua informação, evitando assim a chance de uma possível doutrinação que pode ocorrer por parte de algum canal, que tenha uma ideologia fixa.

E para melhorar a qualidade com que o maior meio de comunicação do Brasil atinja a população, surgiu a ideia de automatizar a antena de recepção das televisões, além de confeccionar uma antena especial para o caso dos sinais de TV Digital. Isso porque está programado para que em 2018 seja extinguida a TV Analógica nas grandes cidades do Brasil, e tendo em vista que o novo sistema de transmissão tem menor alcance que o antigo, se faz necessário que a qualidade na recepção do sinal seja melhorada de alguma forma.

O presente trabalho é uma proposta de um sistema de realimentação que faz com que a antena descubra qual é a posição onde se encontra o sinal desejado, visando reduzir o erro do ajuste manual da antena, e dando a oportunidade para usuários que moram fora do alcance das antenas transmissoras ou repetidoras, de receber o sinal, além de dar mais conforto aos telespectadores.

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste na automatização da antena de recepção de sinais de televisão de uma maneira simples, fazendo com que o sinal recebido pela antena seja enviado a televisão e a um sistema de realimentação, de maneira que caso o sinal

recebido não tenha a qualidade necessária, o atuador gire a antena (no plano horizontal) até uma posição onde a mesma encontre o sinal desejado.

Isso será alcançado confeccionando uma antena especial para frequências de transmissão de TV Digital, além de um circuito de interface que seja capaz de atuar sobre as altas frequências da transmissão digital, filtrando o sinal e enviando ao microcontrolador sinais DC que possam ser analisados pelo mesmo. E a partir destes sinais também será desenvolvido um algoritmo que faça com que um atuador movimente a antena e a posicione na posição desejada.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Como dito anteriormente a televisão é o principal meio de comunicação de nosso país, e é importante que se tenha cada vez mais qualidade na recepção, pelo fato de que as ondas da transmissão do sinal digital estão em uma faixa de maior frequência (UHF) que as do sinal analógico (VHF) fazendo com que tenham mais perdas, além disso em zonas rurais, que geralmente ficam longe das transmissoras e repetidoras dos canais de televisão, é preciso um cuidado ainda maior, pois algumas pessoas ainda hoje não tem acesso aos canais abertos de televisão, por falta de qualidade na recepção dos sinais. Problema este que pode ser resolvido com este projeto. Vale lembrar também que as antenas transmissoras das emissoras de televisão, são posicionadas em um local específico para cada emissora o que implica em um novo direcionamento da antena receptora em alguns casos, caso o usuário queira trocar de canal.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos subitens a seguir serão apresentadas algumas teorias básicas sobre propagação de sinais, para o melhor entendimento do trabalho. Assim como percorridos alguns conceitos necessários sobre antenas, e circuitos para ganho de corrente para a construção do projeto.

### 2.1 ELETROMAGNETISMO

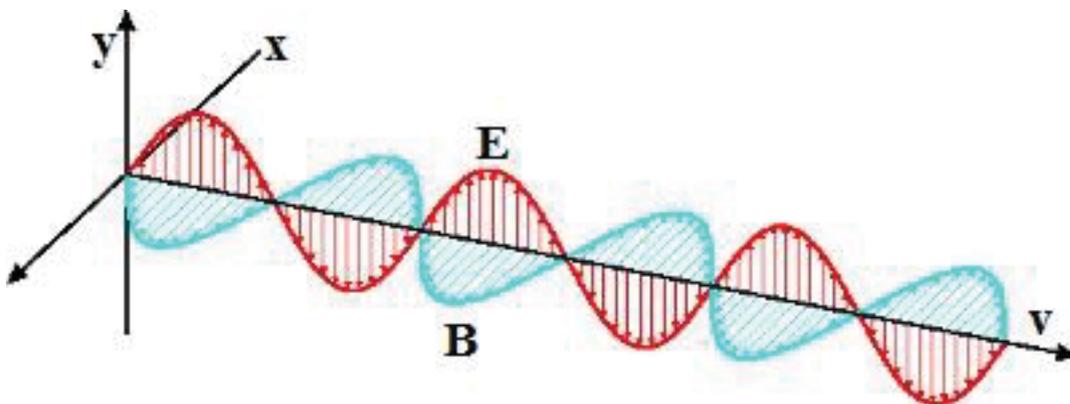
O eletromagnetismo está diretamente ligado a transmissão e recepção de sinais, como explicado por SILVA:

As ondas de rádio que se propagam entre as antenas transmissora e receptora, são denominadas ondas eletromagnéticas[...] onde a antena transmissora transforma as variações de tensão e corrente em ondas eletromagnéticas capazes de se propagarem no espaço.

A antena receptora desempenha um papel contrário, transformando a energia das ondas eletromagnéticas em variações de tensão e corrente necessárias ao funcionamento do equipamento. (SILVA, 1997)

As ondas eletromagnéticas foram demonstradas matematicamente pelo físico James Clerk Maxwell. Ele provou que a oscilação de uma carga elétrica dá origem a campos magnéticos (B). Estes, por sua vez, dão origem a campos elétricos (E), assim como a variação de fluxo de campos elétricos dá origem a campos magnéticos. A combinação desses campos dá origem as ondas eletromagnéticas, que se propagam no espaço em uma velocidade (V) transmitindo energia assim como na Figura 1.

Figura 1 – Onda eletromagnética, sendo campo elétrico (E), campo magnético (B) e velocidade (V).



Fonte: MENDES TEIXEIRA, 2017.

Os sinais eletromagnéticos são geralmente representados por senóides, possuindo vários parâmetros, tais como frequência, fase, amplitude e comprimento de onda. Esses sinais podem ser distinguidos entre ondas guiadas e não guiadas.

Ondas guiadas são aquelas que são propagadas através de uma linha de transmissão e seu trajeto é limitado por esta linha. Já as ondas não guiadas são as propagadas no espaço, onde não há controle da sua propagação, mesmo que a antena transmita esse sinal para uma certa direção preferencial. (SILVA, 1997).

Para compreender as técnicas de recepção e transmissão de sinais, também é importante ter o conhecimento dos conceitos de comprimento de onda e frequência, pois eles determinam alguns parâmetros das antenas e dos equipamentos usados para transmitir ou receber as ondas.

A velocidade de propagação dessas ondas é de  $3 \times 10^8$  m/s, e assim podemos descobrir o comprimento da onda em metros através da equação 1 (YOUNG, 2006).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Onde:

$\lambda$  = comprimento da onda

$c$  = velocidade de propagação

$f$  = frequência do sinal

Para evitar sobreposições de sinais entre os usuários dessas ondas, de forma que a frequência de sinal utilizada por um interfira no sinal do outro, impedindo sua comunicação, foram criadas faixas de frequência, disponíveis para cada tipo de aplicação, de acordo com a Tabela 1, o qual mostra alguns exemplos de utilização para cada faixa de frequência disponível.

Tabela 1-Frequências utilizadas em telecomunicações

<b>FAIXA DE FREQUÊNCIA (Hz)</b>	<b>DENOMINAÇÃO TÉCNICA</b>	<b>DENOMINAÇÃO POPULAR</b>	<b>EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO</b>
300 a 3000	E.L.F ( <i>Extremely Low Frequency</i> )	Ondas Extremamente Longas	Comunicações para submarinos, escavações de minas etc.
3k a 30k	V.L.F ( <i>Very Low Frequency</i> )	Ondas Muito Longas	Comunicações para submarinos, escavações de minas etc.
30k a 300k	L.F ( <i>Low Frequency</i> )	Ondas Longas	Auxílio a navegação aérea, serviços marítimos e radiodifusão local.
300k a 3M	M.F ( <i>Médium Frequency</i> )	Ondas médias	Auxílio a navegação aérea, serviços marítimos e radiodifusão local.
3M a 30M	H.F ( <i>High Frequency</i> )	Ondas tropicais/ ondas curtas	Radiodifusão local e distante, sistemas marítimos (estações costeiras)
30M a 300M	V.H.F ( <i>Very High Frequency</i> )	Micro-ondas	Transmissão de TV, sistemas comerciais e particulares de comunicação, serviços de segurança pública (Polícia, Bombeiros etc.)
300M a 2G	U.H.F ( <i>Ultra High Frequency</i> )	Micro-ondas	Transmissão de TV, sistemas comerciais e particulares de comunicação, serviços de segurança pública (Polícia, Bombeiros etc.)
2G a 3G	U.H.F ( <i>Ultra High Frequency</i> )	Micro-ondas	Comunicação pública a longa distância: sistemas interurbanos e internacionais em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite.
3G a 30G	S.H.F ( <i>Super High Frequency</i> )	Micro-ondas	Comunicação pública a longa distância: sistemas interurbanos e internacionais em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite.
30G a 300G	E.H.F ( <i>Extremely High Frequency</i> )	Micro-ondas	Comunicação pública a longa distância: sistemas interurbanos e internacionais em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite.

Fonte: LIMA JUNIOR, 2003.

## 2.2 FENÔMENOS DE PROPAGAÇÃO

No que diz respeito a propagação de sinal pelo espaço livre, é preciso levar em consideração alguns fenômenos básicos que podem prejudicar ou não a sua transmissão, e que serão apresentados a seguir.

### 2.2.1 Reflexão e Refração

O fenômeno da reflexão ocorre quando o comprimento de onda do sinal transmitido é muito menor que as dimensões dos obstáculos encontrados por este sinal. Quando a reflexão ocorre em regiões planas, o nível do sinal refletido é praticamente igual ao nível do sinal direto. Porém, se houver uma grande diferença de fase entre o sinal vindo direto da antena de transmissão e o sinal refletido, a atenuação na recepção será muito grande, gerando um fenômeno visto com frequência, conhecido popularmente como “fantasmas”, que nada mais são que as imagens com contorno duplo, múltiplo ou deslocadas na TV, como as ilustradas na Figura 2. (BRAGA, 1995).

Figura 2 – Consequências da reflexão do sinal.

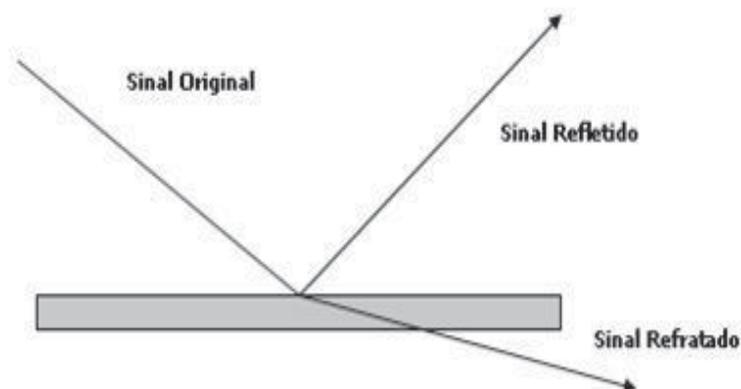


Fonte: BRAGA, 1995.

Esse fenômeno ocorre apenas na transmissão analógica de televisão, pois para a transmissão da TV digital o multi-percurso do sinal pode ocasionar interferência entre símbolos recebidos, ou seja, sobreposição entre os bits, o que ocasiona a ausência de sinal na tela. (DORES; PESSANHA, 2015)

Já a refração de um sinal pode ser descrita como o desvio de uma onda quando esta penetra em um meio de diferente densidade, onde o ângulo de incidência deve ser diferente de  $90^\circ$ , como ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Reflexão e refração de ondas eletromagnéticas

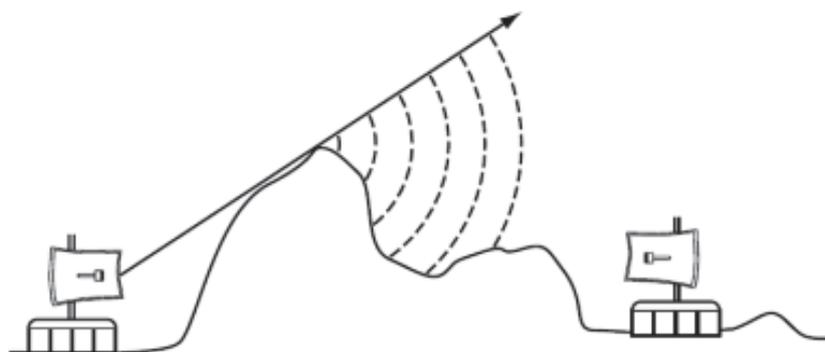


Fonte: FARIAS, 2006.

### 2.2.2 Difração

A difração é um fenômeno que ocorre quando existe um obstáculo entre o transmissor e o receptor do sinal, assim esse obstáculo permite a passagem de somente uma parte das frentes de onda, que acaba por não atingir a antena receptora, pois a mesma se encontra na sombra do obstáculo. Porém, cada ponto da frente de onda se comporta como uma fonte isolada, havendo a formação de ondas atrás do obstáculo, o que explica o fato de o sinal ser recebido mesmo não vendo o ponto de transmissão. Um exemplo de difração é apresentado na figura 4. (BRITO FILHO, 2014)

Figura 4 – Difração de uma onda em uma montanha



Fonte: BRITO FILHO, 2014.

### 2.2.3 Atenuação

A atenuação é uma redução na intensidade de energia do sinal durante a propagação da onda. Qualquer tipo de sinal propagado sofre perdas de energia antes de chegar à recepção. Grande parte destas perdas são causadas por absorção e efeitos da atmosfera, como chuvas, nevoeiros, granizos, entre outros. Geralmente, a maior parte da potência é perdida devido a um espalhamento de frente de onda. Isso significa que a quantidade de energia concentrada em uma área de frente de onda diminui à medida que a distância aumenta. E assim o sinal é recebido apenas com uma parte da potência entregue pelo transmissor. (MENDES, 2012)

## 2.3 PARAMETROS FUNDAMENTAIS DE ANTENAS

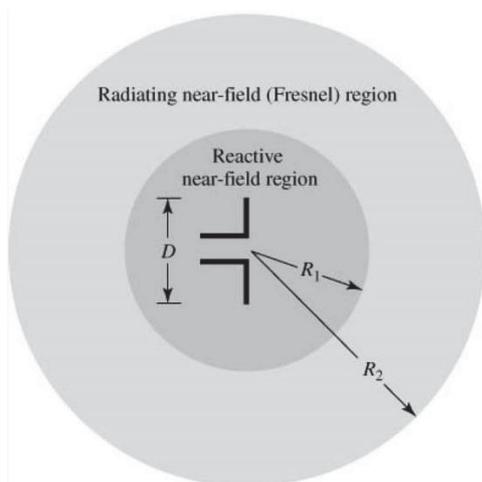
Uma antena é definida pela norma IEEE std 145-1983 como um dispositivo para radiação ou recepção de ondas de rádio, mas também pode ser definida como “a estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento.” (BALANIS, 2009). As antenas podem ter dois propósitos, receber ou enviar sinais, e dentro destes propósitos podem ter variadas formas, que são especificadas de acordo com o sinal que a mesma vai receber ou enviar.

Para descrever o desempenho de uma antena se faz necessária a definição de vários parâmetros, alguns dos quais serão descritos neste capítulo.

### 2.3.1 Regiões do Campo

O espaço no qual uma antena atua pode ser subdividido em três regiões, de acordo com a Figura 5. A região de campo próximo reativo, região de campo próximo radiante (região de Fresnel) e a região de campo distante (região de Fraunhofer). Para identificar as fronteiras que separam essas três regiões foram estabelecidos vários critérios. (BALANIS, 2009).

Figura 5– Regiões de campo de uma antena



Fonte: BALANIS,2009

A região de campo próximo reativo é a porção que fica imediatamente ao redor da antena, na qual predomina o campo reativo, e o raio que delimita a fronteira desta região e geralmente calculado pela equação 2:

$$R < 0,62 \times \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2)$$

Onde:

R = raio da região

D = maior dimensão da antena

A região de Fresnel é a região média, onde predomina o campo radiante, e que depende da distância á antena. Esta região pode não existir, para isso basta que a máxima dimensão da antena não seja grande em comparação com o comprimento de onda. O raio que delimita essa região deve ser maior que o do campo próximo reativo e satisfazer a equação 3:

$$R < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3)$$

Já a região de campo distante ou região de Fraunhofer, é a região onde são obtidos os diagramas de radiação de uma antena, pois é nesta faixa onde as ondas começam a carregar energia consigo. (BALANIS, 2009).

### 2.3.2 Diagrama de Radiação

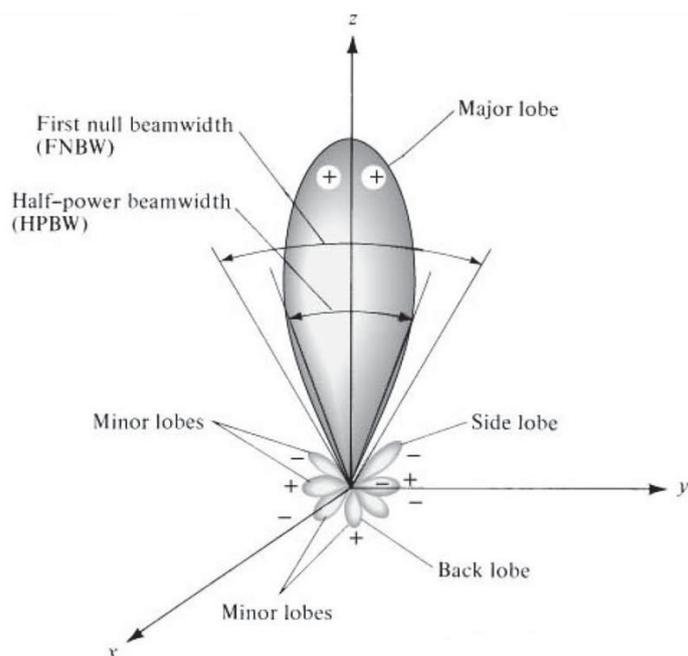
Para BALANIS o diagrama de radiação é denominado como:

Uma função matemática ou representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais. Na maioria dos casos, o diagrama de radiação é determinado na região de campo distante e é representado como uma função das coordenadas direcionais. As propriedades de radiação incluem densidade de fluxo de potência, intensidade de radiação, intensidade de campo, diretividade, fase ou polarização. (BALANIS, 2009)

Resumindo, esse diagrama representa a amplitude do campo elétrico ou da potência radiada em função de ângulos  $\phi$  e  $\theta$ . Onde  $\phi$  é o ângulo no plano azimutal, e  $\theta$  é o ângulo de elevação do diagrama.

Os diagramas de radiação são iguais para antenas de transmissão e recepção, mas desde que essas sejam as mesmas. Pode-se observar um exemplo de diagrama na Figura 6. (BALANIS, 2009).

Figura 6- Diagrama de radiação tridimensional.



Fonte: BALANIS, 2009.

Os lóbulos que podemos ver na Figura 6, indicam a diretividade da antena. O lóbulo maior nos informa a direção para a qual a antena está apontada para transmitir ou receber a máxima potência do sinal, enquanto os lóbulos menores indicam as direções onde as são recebidas ou enviadas ondas com menor intensidade. As larguras dos lóbulos menores seguem o padrão da largura do lóbulo principal. Quanto mais estreito for o lóbulo mais diretiva é esta antena. (BALANIS, 2009).

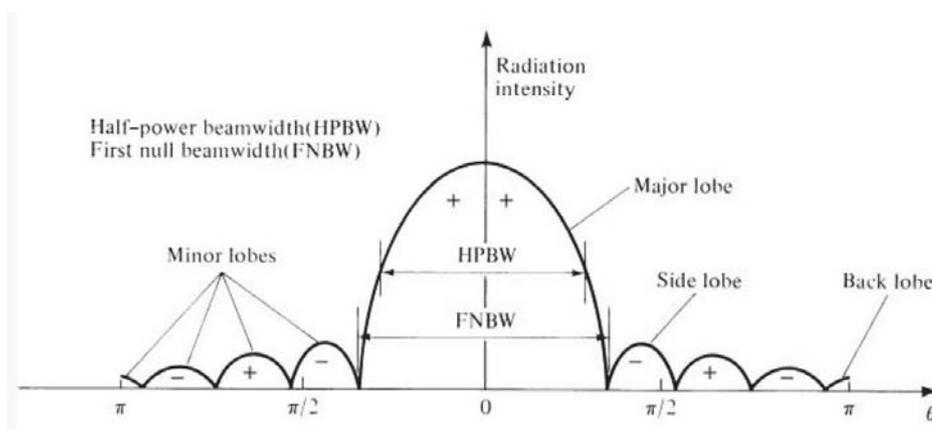
O lóbulo principal é definido como o que contém a direção da máxima radiação de sinal, essa direção é determinada pelos ângulos  $\theta$  e  $\phi$ . Na figura 6 temos  $\phi = 0^\circ$ .

Quaisquer lóbulos que não sejam o principal, são determinados lóbulos secundários, e devem ser minimizados em casos em que se deseja uma antena direcional, pois esses irradiam para posições indesejadas.

Outro parâmetro a se ressaltar na imagem, são as larguras de feixe, que são definidas como “a separação angular entre dois pontos idênticos em lados opostos do máximo do diagrama” (BALANIS, 2009).

A largura de feixe de meia potência é dita como o ângulo entre duas direções, onde existe metade do valor máximo de radiação (aproximadamente -3 dB). Já a largura de feixe entre os primeiros nulos faz referência a diferença angular entre os primeiros pontos nulos do sistema.

Figura 7- diagrama de radiação bidimensional



Fonte: BALANIS, 2009.

### 2.3.3 Diretividade

Para entender o conceito de diretividade de uma antena, primeiramente é necessário entendermos o conceito de um radiador isotrópico, também conhecido como fonte isotrópica. Essa fonte pode ser descrita como uma antena sem qualquer perda, e que irradia em todas as direções. Uma antena isotrópica é uma antena ideal e fisicamente impossível de se realizar, porém é utilizada como referência para expressar os parâmetros direcionais das antenas reais.

Feito este breve esclarecimento, então pode-se enfim apresentar o conceito de diretividade, que é a comparação entre a intensidade de radiação da antena e a intensidade de radiação de uma fonte isotrópica. Matematicamente essa comparação pode ser descrita pela equação 4 (BALANIS, 2009).

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{K_r} \quad (4)$$

Onde:

D = diretividade (adimensional)

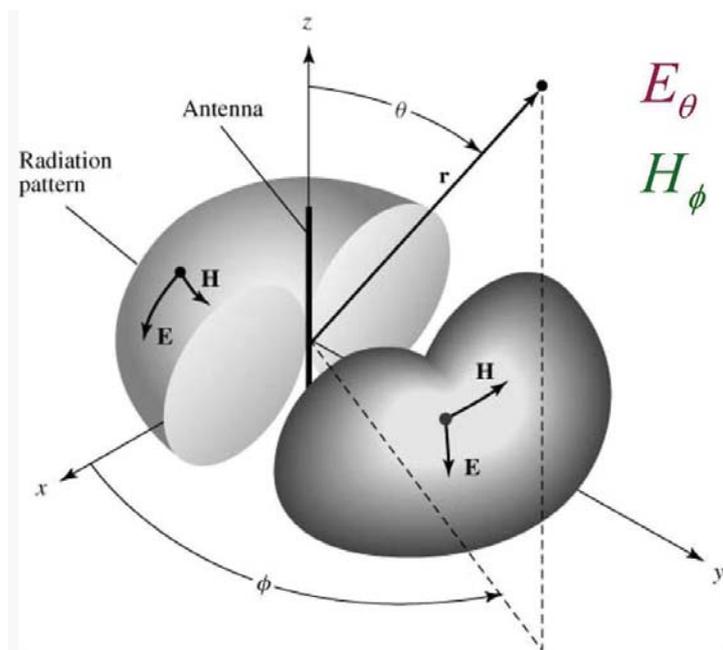
U = intensidade de radiação (W/unidade de ângulo sólido)

$U_0$  = intensidade de radiação de uma fonte isotrópica (W/unidade de ângulo sólido)

$K_r$  = potência radiada total (W)

Uma antena direcional, é aquela que tem maior capacidade de radiar ou receber ondas em uma determinada direção, seja ela qual for. Uma antena de recepção com alta diretividade aumenta a relação sinal/ruído, pelo fato de apresentar um ângulo sólido pequeno, ângulo pelo qual o ruído é captado, e o aumento desta relação melhora a qualidade de recepção da antena. (BALANIS, 2009).

Figura 8- diagrama de radiação omnidirecional



Fonte: BALANIS, 2009.

No diagrama da Figura 8 pode-se reparar que a antena não tem uma direção definida para o plano azimutal, porém é direcional no plano de elevação. E isso resulta em um caso especial para diagramas direcionais, que são os diagramas omnidirecionais. Esses são definidos como aqueles que possuem um diagrama não direcional em um dado plano, mas direcional em um dos outros.

A diretividade de uma antena também se faz necessária para a equação de rádio enlace existente entre as antenas receptora e transmissora. Esta equação relaciona a potência recebida pela carga  $P_r$  e a potência de entrada  $P_t$  da antena transmissora, que estão separadas por uma distância  $R$ .

$$\frac{P_r}{P_t} = D_t \times D_r \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (5)$$

Onde:

$D_t$  = diretividade da antena transmissora

$D_r$  = diretividade da antena receptora

### 2.3.4 Ganho

Para avaliar a qualidade de uma antena existem alguns parâmetros que se tornam fundamentais, e um deles é o ganho da antena. Embora este parâmetro tenha alguma relação com a diretividade da antena, vale lembrar que este leva em consideração tanto a eficiência quanto as propriedades direcionais da antena. O ganho de uma antena é definido pela razão entre a potência entregue ao receptor pela antena em teste, e o ganho entregue ao receptor por uma antena de referência, cuja a qual o ganho possa ser calculado ou já seja conhecido.

O ganho (G) de uma antena pode ser expresso pela equação 6 (BALANIS,2009).

$$G(\phi, \theta) = 4\pi \frac{U(\phi, \theta)}{P_{in}} \quad (\text{adimensional}) \quad (6)$$

Onde  $P_{in}$  é a potência total de entrada (aceita), e  $U$  é a intensidade de radiação em uma determinada posição.

### 2.3.5 Largura de Banda

A largura de banda de uma antena pode ser descrita como a uma faixa de frequência, onde o desempenho da antena corresponde as expectativas, principalmente no que diz respeito a parâmetros como impedância de entrada, diagrama de radiação, nível de lóbulos secundários, e ganho. Essa faixa de frequência é avaliada de duas formas, como explica BALANIS:

No caso de antenas de banda larga a largura de banda é usualmente expressa como a razão entre as frequências superior e inferior da faixa aceitável de operação. Por exemplo, uma largura de banda de 10:1 indica que a frequência superior é 10 vezes maior que a inferior. Para antenas de banda estreita, a largura de banda é expressa com a razão entre a diferença de frequências (superior menos inferior) e a frequência central. Por exemplo uma largura de banda de 5% indica que a diferença das frequências de operação aceitável é de 5% da frequência central da banda. (BALANIS, 2009)

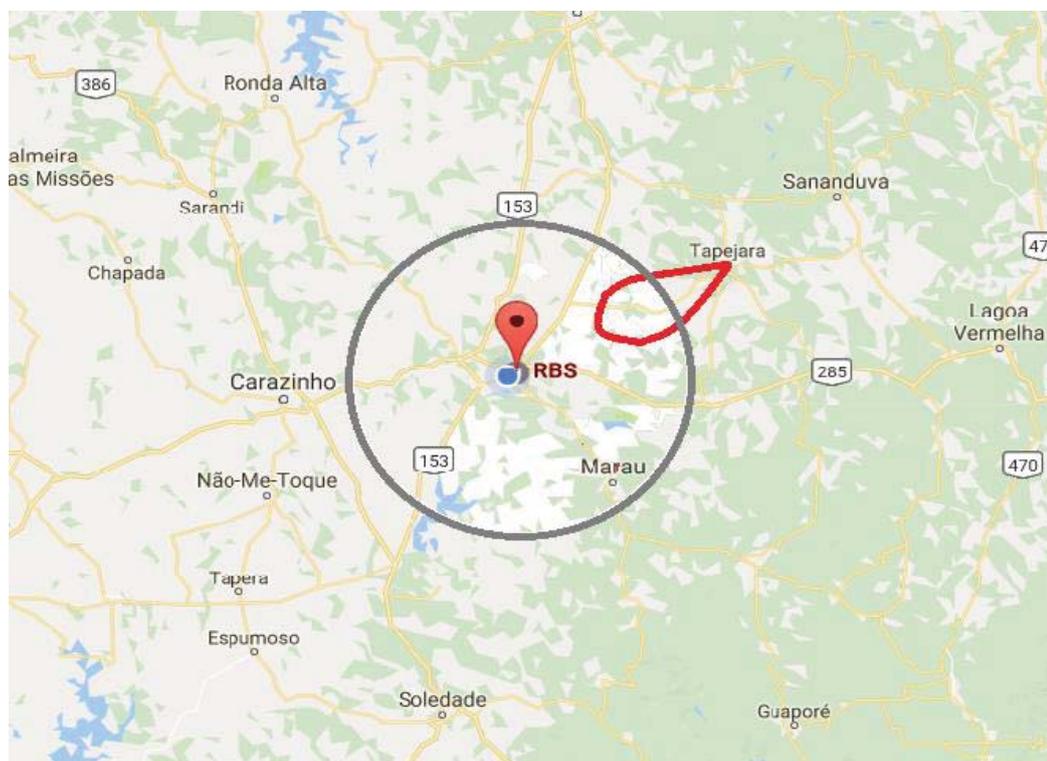
## 2.4 ANTENAS

Na atualidade, existem várias topologias de antenas, cada uma com suas peculiaridades, suas vantagens e desvantagens, fazendo assim com que sejam usadas para casos específicos, de acordo com a necessidade do usuário.

Como este trabalho faz referência a antena de recepção para sinais de televisão, a seguir serão apresentados alguns conceitos sobre duas antenas diretivas que são usualmente utilizadas para frequências de UHF. As antenas para este caso devem ser diretivas para que possam ter maior alcance, atingindo assim, a área coberta pelo sinal da antena de transmissão, como no suposto exemplo da Figura 9.

Vamos supor que a antena de transmissão da RBS TV (Rede Brasil Sul de Televisões) situada em Passo Fundo tenha o raio de abrangência do círculo cinza, e que não tenha nenhuma repetidora próxima da região da cidade de Tapejara. Dessa forma um telespectador dessa cidade não estaria na área de cobertura, e só poderia receber o sinal da transmissão através de uma antena com capacidade de receber sinais a grandes distâncias, e para isso seria necessária uma antena direcional, como exemplificado pelo diagrama de radiação em vermelho na Figura 9.

Figura 9 – Suposto exemplo da abrangência de uma transmissão e de uma recepção de sinal



Fonte: adaptado de google maps.

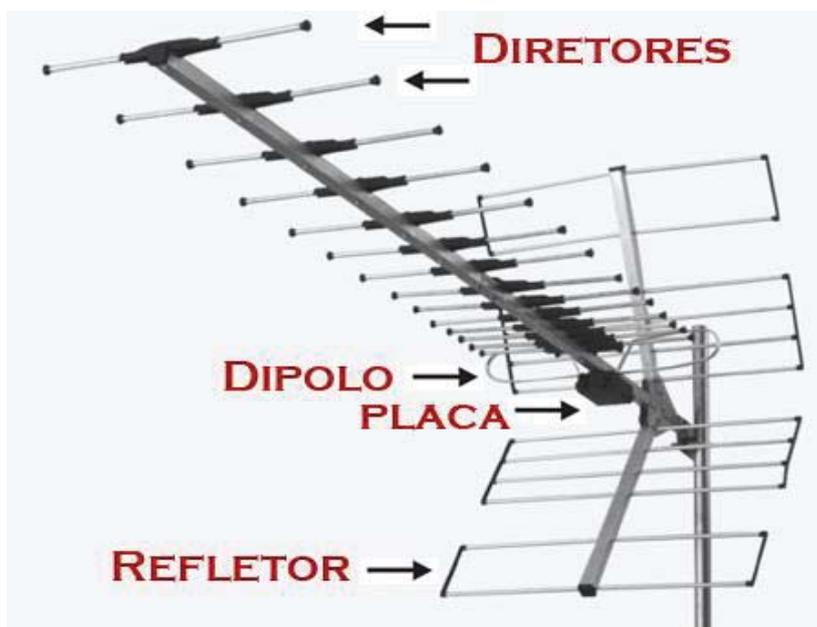
### 2.4.1 Antena Yagi-Uda

Esta topologia de antena foi criada na década de 1920 pelo professor S. Uda, da Tohonku Imperial University, no Japão. Algum tempo depois, foi escrito um artigo, mais abrangente e com maior circulação, sobre essa topologia, por Yagi, que era colega do Professor Uda. E por isso hoje essa antena é conhecida por Yagi-Uda. (BALANIS, 2009).

As antenas Yagi-Uda são conhecidas popularmente no Brasil por antenas “boca de jacaré” e seu principal uso vem sendo para a recepção de ondas em UHF. Essas antenas são compostas por três elementos principais, que são os diretores, os refletores e os dipolos, como explicitado na Figura 10.

Os refletores têm duas funções específicas, uma delas é refletir o sinal que chega por trás da antena para fora, evitando assim a chance de receber um sinal rebatido com uma fase diferente do original, o que iria diminuir a qualidade do sinal recebido. A outra função é a de refletir as ondas recebidas pela região frontal, para os diretores e dipolos dando maior ganho á antena. (BALANIS, 2009).

Figura 10- antena Yagi-Uda

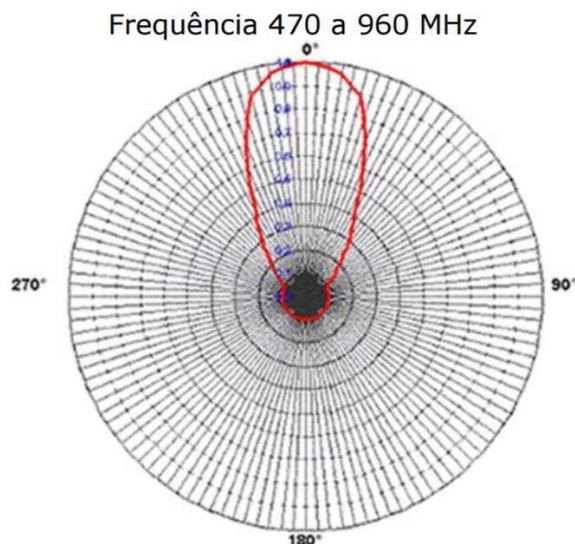


Fonte: <http://www.melhorantena.com.br/antena-externa-para-sinal-digital-e-analogico-uhf-tipo-yagi-uda-ou-boca-de-jacare/>

Os diretores por sua vez, transmitem as ondas advindas da transmissão para os dipolos. Quanto mais diretores, maior será o ganho da antena e também maior será a sua capacidade de direcionalidade. Entretanto existe um limite prático que após ultrapassado, pouco se ganha com o aumento no número de diretores.

Já os dipolos são os elementos que realmente recebem o sinal, e o enviam para a placa, que por sua vez envia através de um cabo para a televisão, ou para um receptor.

Figura 11- Diagrama de diretividade para antena Yagi-Uda



Fonte: [www.mectronica.com.br/docs\\_tv/yagi.pdf](http://www.mectronica.com.br/docs_tv/yagi.pdf)

As antenas boca de jacaré, por possuírem elementos refletores, tem uma ótima diretividade e um bom ganho. E por isso são indicadas para regiões onde não se tem grande potência de sinal recebida, porém, para seu correto funcionamento, ela deve estar apontada para a região correta.

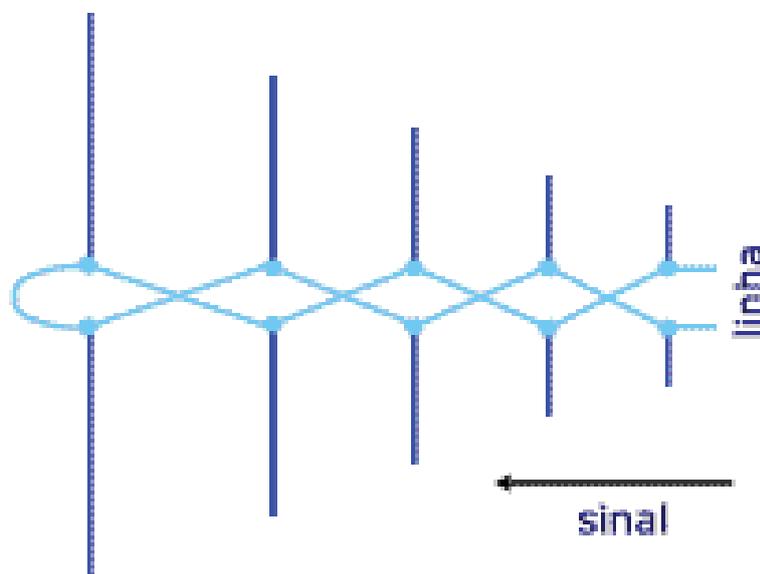
Lembrando também que o diagrama de radiação das antenas varia de acordo com o seu dimensionamento e sua faixa de frequência. O diagrama da Figura 11, foi obtido para duas antenas, uma que opera na faixa de frequência entre 470 MHz e 890 MHz com um ganho de 6.89 dB, e outra que opera na faixa de frequência entre 940 MHz e 960 MHz com um ganho de 11 dB.

### 2.4.2 Antena Log-Periódica

As antenas log-periódicas recebem este nome pelo fato de sua impedância de entrada e seus diagramas de irradiação variarem periodicamente de acordo com o logaritmo da sua frequência. Esta topologia tem uma larga faixa de operação, faixa esta que é definida pelas dimensões dos elementos de sua estrutura.

A log-periódica pode ser considerada uma evolução da antena Yagi-Uda, vista anteriormente. Isso se dá pelo fato da semelhança do ganho das duas antenas, porém, o que faz com que a log-periódica fique um degrau acima, é que ela pode manter o ganho em uma maior faixa de frequência. (BALANIS, 2009).

Figura 12- Esquemática de uma antena log-periódica



Fonte: [www.mspc.eng.br/eletn/antena110.shtml#log\\_per](http://www.mspc.eng.br/eletn/antena110.shtml#log_per)

Popularmente conhecida como “espinha de peixe”, esta antena possui elementos refletores e diretores. Os elementos diretores têm diferentes tamanhos, e são eles quem definem a faixa de operação da antena. Na Figura 12 temos um exemplo de uma antena com um elemento refletor (o primeiro da esquerda para a direita) e outros quatro diretores.

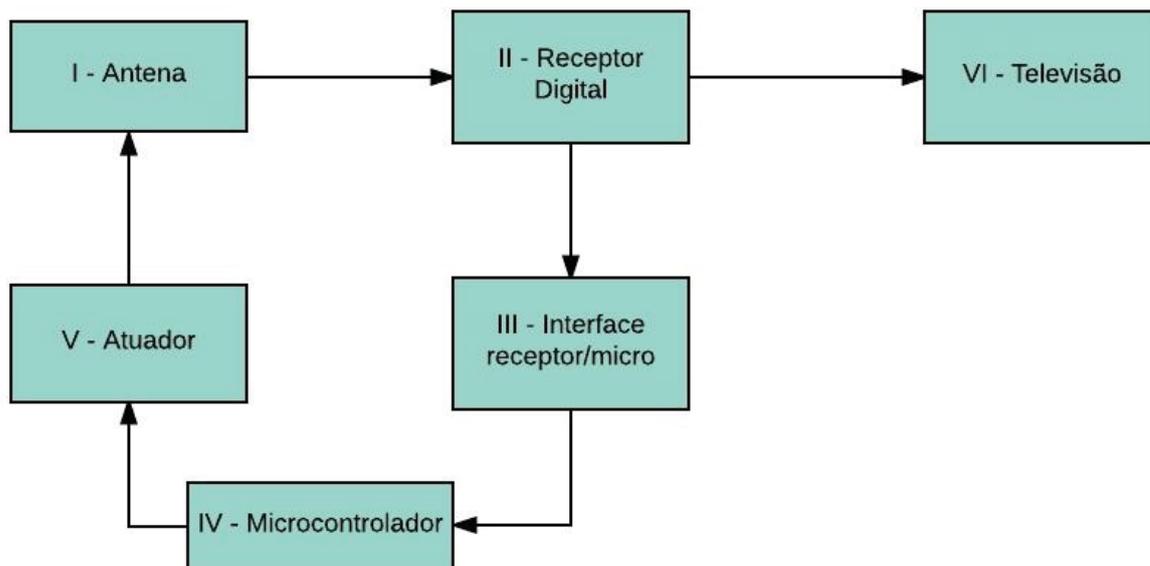
O seu princípio de funcionamento, faz com que em uma certa frequência, um dipolo específico receba a potência transmitida, de modo com que as frequências mais altas sejam recebidas pelo menor dipolo, e as frequências mais baixas pelo maior elemento. Assim os outros dipolos mais curtos atuam como diretores, e caso haja um elemento de maior grandeza, este atuara como refletor. (BALANIS, 2009).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como o objetivo do presente projeto consiste no desenvolvimento de uma antena de recepção com rotação automática para se ajustar à direção na qual o sinal é recebido, para isso foi composto um sistema de acordo com o fluxograma da Figura 14, que é explicado a baixo.

Figura 14- fluxograma geral do projeto



Fonte: próprio autor

- I- Antena: A recepção do sinal é feita por uma antena especial para frequências de sinais digitais de televisão, esta antena é rotacionada automaticamente no plano horizontal, e posicionada de acordo com o sinal desejado pelo usuário.
- II- Receptor digital: o receptor é o meio pelo qual é feita a escolha do canal desejado. Além disso ele irá enviar os sinais analógicos recebidos pela antena para o microcontrolador, e transmitir a sua saída digital para a televisão.
- III- Interface receptor/micro: circuito que converte o sinal de vídeo recebido do receptor para um sinal DC que é enviado ao micro.

- IV- Microcontrolador: tem a função de receber o sinal analógico da interface e controlar o atuador para que este rotacione a antena para a posição desejada.
- V- Atuador: motor de passo, antecedido por um driver para acoplá-lo ao microcontrolador, com a função de girar a antena posicionando a mesma de acordo com o desejado.
- VI- Televisão: a televisão é usada apenas para amostrar o sinal desejado.

### 3.1 ANTENA

Foi projetada uma antena log periódica para receber os sinais de TV Digital. Esta é a melhor escolha para a recepção destes sinais, pois é uma antena direcional que, se posicionada da maneira correta, encontra com facilidade as ondas da frequência para a qual ela foi projetada. Sua saída é através de um cabo coaxial que é conectado ao receptor.

Figura 15- Exemplo de antena log periodica



Fonte: <http://blog.elsys.com.br/os-diferentes-modelos-de-antenas/>

### 3.2 RECEPTOR DIGITAL

O receptor usado para transmitir os sinais ao microcontrolador e à televisão é o conversor digital de TV Intelbras CD 636, que foi escolhido pelo fato de possuir uma saída de vídeo analógica (usada para enviar o sinal para o microcontrolador) e uma digital em HDMI que é usada para reproduzir o sinal na televisão. Além disso tem uma entrada para cabo coaxial para o acoplamento da antena.

A saída de vídeo utilizada para enviar o sinal ao micro é a analógica pelo fato de ter uma forma de simples de se analisar, podendo assim ser usado um microcontrolador mais simples.

Esses três requisitos citados são os únicos essenciais para a escolha do equipamento que é apresentado na Figura 16

Figura 16- conversor digital de TV Intelbras CD 636



Fonte: <https://www.amazon.com.br/Conversor-Digital-Intelbras-CD636-Gravador>

### 3.3 ATUADOR

O atuador do circuito fará a rotação da antena a posicionando na angulação correta para a recepção do sinal. Deve ser capaz suportar o peso da antena além de ter a força necessária para movimenta-la, tendo uma boa precisão para o posicionamento.

Para isso foi escolhido um motor de passo, pois este tem um torque suficiente além de ter uma excelente precisão para o posicionamento. Fora isso ele ainda segue uma lógica digital, o que facilita o trabalho na hora da programação do seu acionamento.

O motor de passo é um motor elétrico que rotaciona o seu eixo através de pulsos digitais. O motor escolhido, como o da Figura 17, têm uma precisão de  $1,8^\circ$  por passo, o que resulta em 200 passos, ou 200 posições diferentes. Isso quando o seu funcionamento está no modo de “passo completo” ou “full step”. Porém, existe outra forma de operação, conhecida como “meio-passo” ou “half step”, esse modo faz com que uma bobina seja energizada, e em seguida duas bobinas sejam energizadas ao mesmo tempo, fazendo assim com que o rotor gire metade de sua distância nominal, dobrando o número de passos dados, tornando o giro do motor mais suave e gerando uma precisão de  $0,9^\circ$  por passo.

O motor utilizado no projeto foi um motor nema com precisão de  $1,8^\circ$  por passo, com tensão nominal de 6 Volts e corrente de 1,2 Amperes.

Como o motor necessita de uma corrente de 1,2 amperes para o seu funcionamento, se fez necessário o uso de um driver para o acoplamento do motor com o microcontrolador, já que o micro não disponibiliza a corrente necessária para o funcionamento do motor.

Figura 17- Exemplo de motor de passo



Fonte: [www.newhskstore.com.br/motor-de-passo-nema-23-19kgf.html](http://www.newhskstore.com.br/motor-de-passo-nema-23-19kgf.html)

### 3.4 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é parte fundamental na composição do circuito, pois ele tem a função de receber o sinal advindo do receptor, e a partir deste sinal, controlar o atuador de forma que este ajuste a antena até uma posição em que o sinal seja encontrado.

Para isto, foi necessária uma entrada para receber o sinal analógico, e um conversor A/D interno para que o sinal possa ser analisado pelo processador

Pela disponibilidade do componente e suas características, o componente usado foi o *LaunchPad Evaluation*, da *Texas Instrument*, que é uma placa para microcontroladores ARM Cortex M4F (apresentado na Figura 18). Esta placa se destaca por ter um clock de 80 MHz, um ótimo espaço para memória, dois botões para interface com o usuário e barramentos de pinos nas portas I/O que facilitam o uso de placas ou módulos adicionais caso necessário.

Figura 18 – Placa LaunchPad Evaluation



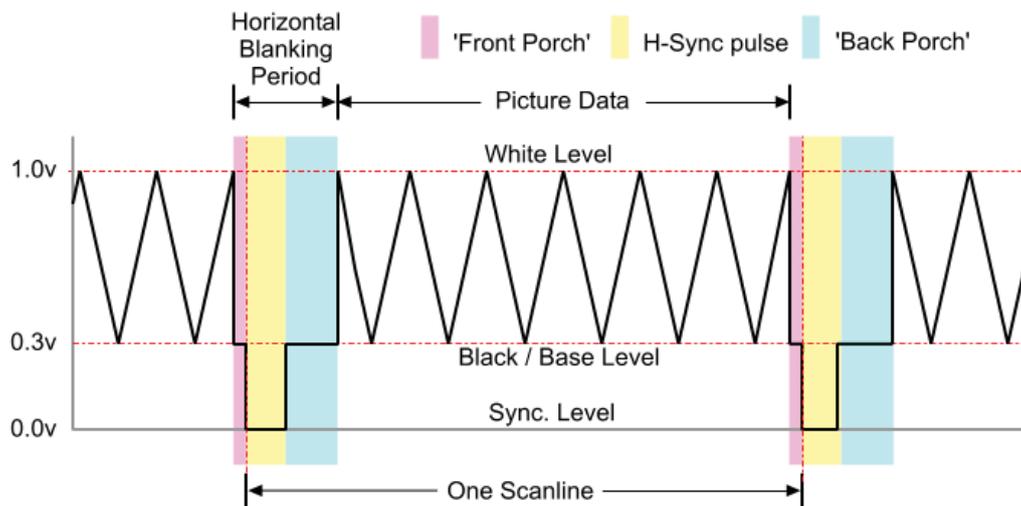
Fonte: [es.farnell.com/texas-instruments/ek-tm4c123gxl/launchpad-tiva-c-kit-de-evaluaci/dp/2314937](http://es.farnell.com/texas-instruments/ek-tm4c123gxl/launchpad-tiva-c-kit-de-evaluaci/dp/2314937)

### 3.4.1 Interface Receptor/Micro

O sinal recebido através da saída analógica do receptor, é um sinal de vídeo composto, como ilustrado na Figura 19, onde o “Horizontal Blanking Period” é o período em que um feixe de elétrons é apagado para que se possa transmitir outra imagem.

A faixa do “Picture Data” são os dados da imagem transmitida.

Figura 19- sinal de vídeo composto



Fonte: [danjovic.blogspot.com.br/2015/02/sinais-de-sincronismo-da-tv-analogica-e.html](http://danjovic.blogspot.com.br/2015/02/sinais-de-sincronismo-da-tv-analogica-e.html)

Dentro do período em que os elétrons são apagados existem três etapas com funções diferentes. A “front porch” garante que a imagem esteja no nível preto quando o pulso de sincronismo horizontal (“H-Sync pulse”) começar. Após o pulso de sincronismo ocorre o “Back Porch”, que garante o nível de referência da imagem, fazendo com que as cores sejam amostradas no contraste correto. (DANJOVIC, 2015)

Portanto a função desta interface é filtrar o sinal de vídeo composto de modo que ele se torne um sinal DC para que o microcontrolador possa analisá-lo. Esse filtro é feito através de um detector de envoltória.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Com base na fundamentação teórica do projeto e nas especificações do mesmo pode-se então iniciar o desenvolvimento das partes propostas.

### 4.1 ANTENA

No projeto de uma antena são levados em consideração diversos fatores, que vão desde a frequência na qual ela irá atuar até o diâmetro dos dipolos usados na montagem.

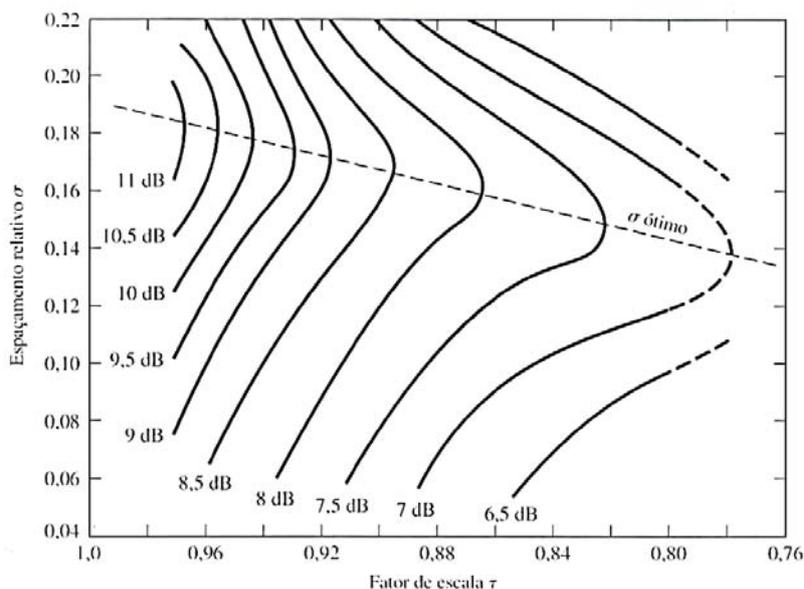
Por isso existem diversas rotinas de projeto para se fazer uma antena, dentre essas rotinas a escolhida para este projeto foi a de Carrel.

Provavelmente a rotina mais simples, completa e prática para o projeto de um conjunto log-periódico de dipolos é a apresentada por Carrel. Para auxiliar o projeto ele desenvolveu uma serie de curvas e nomogramas. A configuração genérica de um conjunto log-periódico é descrita em termos dos parâmetros de projeto  $\tau$ ,  $\alpha$  e  $\sigma$  relacionados por: (BALANIS, 2009, p. 45)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{1-\tau}{4\sigma} \right] \quad (7)$$

Na figura 20 encontra-se a relação entre esses parâmetros para alguns ganhos específicos.

Figura 20- relação entre fator de escala e espaçamento relativo para ganhos específicos



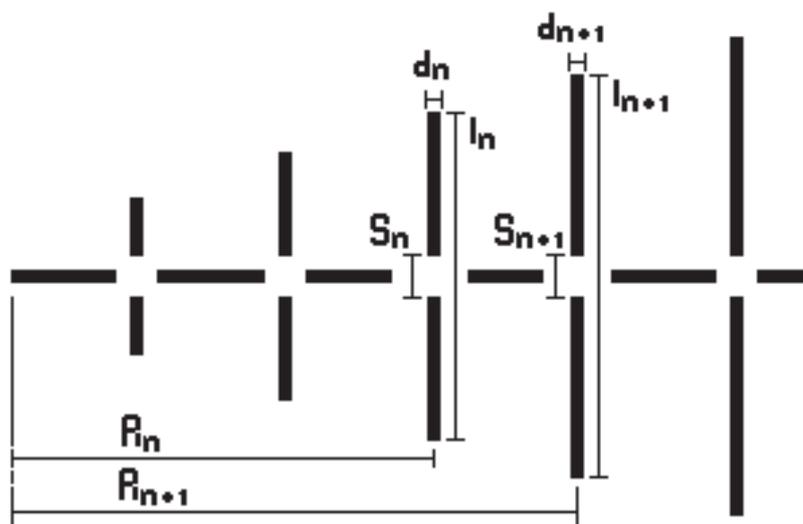
Fonte: BALANIS,2009

A partir destas relações é possível então apurar algumas medidas da antena em questão, através de equações, como por exemplo a equação 8, que relaciona  $\tau$  com a distância entre os dipolos ( $l_n$ ), bem como a equação 9 que relaciona  $\sigma$ , o comprimento dos dipolos e a distância entre os mesmos. Estes parâmetros são demonstrados na figura 21.

$$\frac{1}{\tau} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_{n+1}}{l_n} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}} \quad (9)$$

Figura 21- parâmetros de medidas de uma antena log-periódica



Fonte: (SILVA; PEREIRA)

Partindo das relações entre  $\tau$ ,  $\alpha$  e  $\sigma$  pode-se encontrar também a largura de banda da região ativa da antena pela equação 10, e a largura de banda de projeto pela equação 11.

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot \alpha \quad (10)$$

$$B_s = B \cdot B_{ar} = B[1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot \alpha] \quad (11)$$

Onde B é a largura de banda onde a antena irá atuar, ou seja, de 470 MHz à 890 MHz, frequência destinada aos canais de TV digital.

O comprimento total  $L$  da estrutura do elemento mais curto ( $l_{min}$ ) ao elemento mais longo ( $l_{m\acute{a}x}$ ) é dado por:

$$L = \frac{\lambda_{M\acute{A}X}}{4} \left( 1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha \quad (12)$$

Onde  $\lambda_{M\acute{A}X}$  é o comprimento de onda máximo, determinado por:

$$\lambda_{M\acute{A}X} = 2l_{M\acute{A}x} = \frac{v}{f_{M\acute{I}N}} \quad (13)$$

Em que  $v$  é a velocidade da luz, assumida como  $3 \times 10^8 m/s$ .

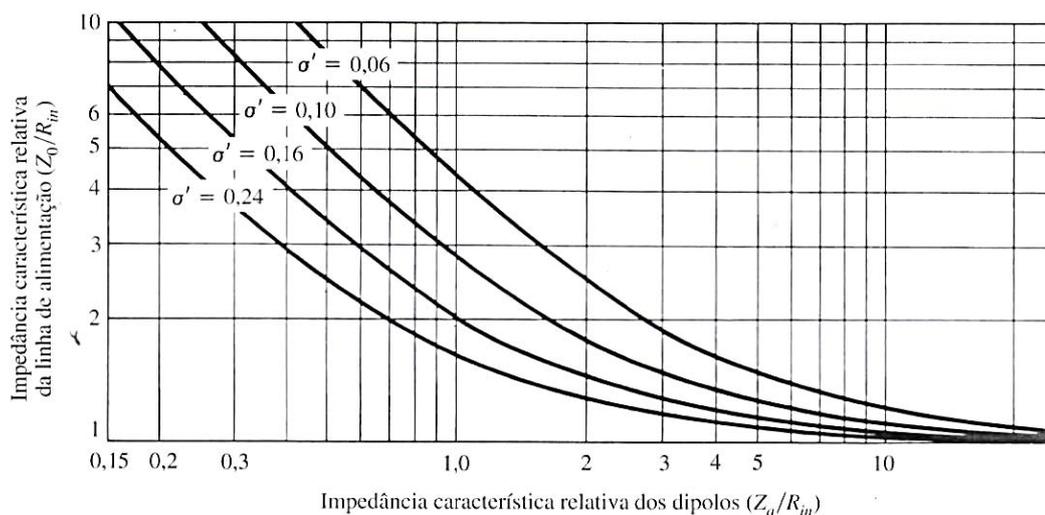
Da geometria do sistema o número de elementos  $N$ , é determinado com:

$$N = 1 + \frac{\ln(Bs)}{\ln(1/\tau)} \quad (14)$$

O espaçamento centro a centro ( $s$ ) entre os condutores da linha de alimentação pode ser determinado especificado a impedância de entrada desejada  $R_{in}$  (admitida como real) e calculando a impedância característica média dos elementos ( $z_a$ ) pela equação 15, para então encontrar a impedância característica da linha de alimentação ( $z_0$ ) através das curvas da figura 22, onde  $\sigma'$  é o espaçamento relativo médio dado pela equação 16. Dessa forma obtém-se todos os parâmetros para resolver a equação 17 e encontrar o espaçamento ( $s$ ).

$$z_a = 120 \left[ \ln \left( \frac{l_{M\acute{A}X}}{d_{M\acute{A}X}} \right) - 2,25 \right] \quad (15)$$

Figura 22-curvas de espaçamento relativo médio



Fonte: BALANIS,2009

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (16)$$

$$s = d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \quad (17)$$

O projeto da antena proposta foi calculado para 9 dB de ganho, logo, de acordo com a figura 20 obtemos  $\sigma = 0,171$  e  $\tau = 0,918$ , de forma que conforme a equação 7:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{1-0,918}{4(0,171)} \right] \quad (7)$$

$$\alpha = 6,836^\circ.$$

A partir desses valores pode-se calcular a largura de banda ativa e a largura de banda de projeto pelas equações 10 e 11.

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1 - 0,918)^2 \cot 6,836 \quad (10)$$

$$B_{ar} = 1,53$$

$$B_s = B B_{ar} = \left( \frac{890 \text{ MHz}}{470 \text{ MHz}} \right) \cdot 1,53 \quad (11)$$

$$B_s = 2,9$$

Depois de encontrar a largura de banda, através da equação 13, encontra-se o maior comprimento de onda que a antena irá receber, e assim o comprimento total da antena ( $L$ ) com a equação 12.

$$\lambda_{M\acute{A}X} = \frac{3 \cdot 10^8}{470 \text{ MHz}} \quad (13)$$

$$\lambda_{M\acute{A}X} = 0,638$$

$$L = \frac{0,638}{4} \left(1 - \frac{1}{2,9}\right) \cot 6,836^\circ \quad (12)$$

$$L = 0,871 \text{ m}$$

Dessa forma podemos calcular a quantidade de dipolos ( $N$ ) da estrutura através da equação 14.

$$N = 1 + \frac{\ln(2,9)}{\ln(1/0,918)} \quad (14)$$

$$N = 14,4 \equiv 14 \text{ elementos}$$

Assim sendo, conforme a equação 13 pode se encontrar também o comprimento do maior dipolo da estrutura.

$$0,638 = 2l_{M\acute{A}x} \quad (13)$$

$$l_{M\acute{A}x} = 0,319 \text{ m}$$

Feito isso, então calcula-se o espaçamento ( $s$ ) centro a centro da estrutura pelas equações 15 e 16, onde o diâmetro máximo dos dipolos usados ( $d_{M\acute{A}X}$ ) é de 8 mm.

$$z_a = 120 \left[ \ln \left( \frac{0,319}{0,008} \right) - 2,25 \right] \quad (15)$$

$$z_a = 172,66 \Omega$$

Assumindo uma impedância de entrada real ( $R_{in}$ ) de  $75 \Omega$  calcula-se a impedância característica relativa dos dipolos,  $\left( \frac{z_a}{R_{in}} \right)$  que é igual a  $2,3 \Omega$ , e o espaçamento relativo médio dado pela equação 16:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (16)$$

$$\sigma' = \frac{0,171}{\sqrt{0,918}} = 0,178$$

Então através da figura 22 podemos determinar a impedância característica relativa da linha de alimentação  $(Z_0/R_{in})$ .

Dessa forma, assumindo a impedância relativa da linha de alimentação como 1,5 tem-se  $Z_0 = 1,5 \cdot R_{in} = 112,5 \Omega$  e então pela equação 16 é descoberto o valor do espaçamento (s):

$$s = 0,008 \cosh\left(\frac{112,5}{120}\right) \quad (16)$$

$$s = 1,1 \text{ cm}$$

Após isso são encontradas as distancias entre os dipolos ( $R_n$ ) e o início da antena. As distancias são calculadas do maior dipolo ( $R_{14}$ ) até o menor ( $R_1$ ) e são encontradas através da equação 2:

$$\sigma = \frac{R_{n+1} - R_n}{2l_{n+1}} \quad (9)$$

Os resultados das distancias entre os dipolos serão apresentados na tabela 1.

Depois de descobertas as distancias entre os dipolos pode-se então calcular o comprimento dos mesmos também pela equação 1, já que sabemos o comprimento do maior dipolo pela equação 13.

$$\frac{1}{\tau} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_{n+1}}{l_n} \quad (8)$$

$$\tau \cdot l_{14} = l_{13}$$

$$0,319 \cdot 0,918 = l_{13}$$

Os resultados dos comprimentos dos dipolos também serão apresentados na tabela 1.

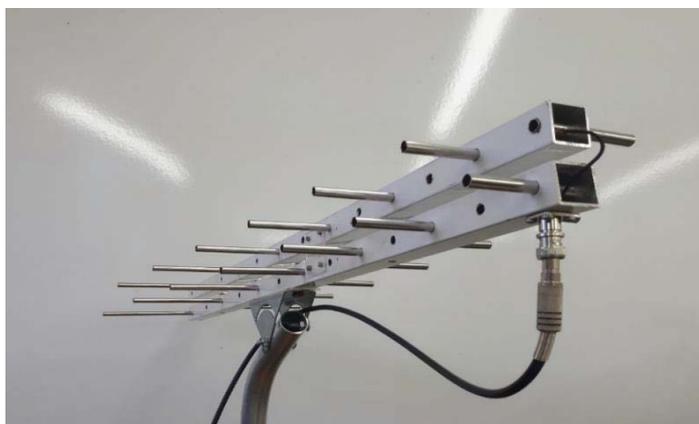
Tabela 2 -medidas da antena

Dipolo(n)	Comprimento dos dipolos ( $l$ )	Distância entre o dipolo e o início da antena ( $R$ )
13	0,320 m	0,870 m
12	0,293 m	0,761m
11	0,269 m	0,661 m
10	0,247 m	0,568 m
9	0,227 m	0,484 m
8	0,208 m	0,406 m
7	0,191 m	0,335 m
6	0,175 m	0,269 m
5	0,161 m	0,209 m
4	0,148 m	0,154 m
3	0,136 m	0,104 m
2	0,124 m	0,056 m
1	0,114 m	0,014 m

Fonte: próprio autor

Como existem vários modelos de antenas log-periódicas a escolha foi feita levando em conta o modelo usado comercialmente, que é o coaxial. A partir de todos os cálculos necessários feitos foi feita a montagem da antena. Foram utilizadas duas barras de alumínio como linhas de alimentação e para os dipolos foram utilizados canos de inox com 8mm de diâmetro. Para a conexão da antena foi acoplado um conector VNC, de modo que ela possa ser conectada à um cabo coaxial. A antena foi presa a um suporte de metal, que fica isolado da mesma para evitar interferências, esse suporte por sua vez está acoplado ao motor. O protótipo pode ser observado na figura 23. Todas as medidas da antena podem ser vistas nos apêndices A, B e C.

Figura 23: Antena desenvolvida

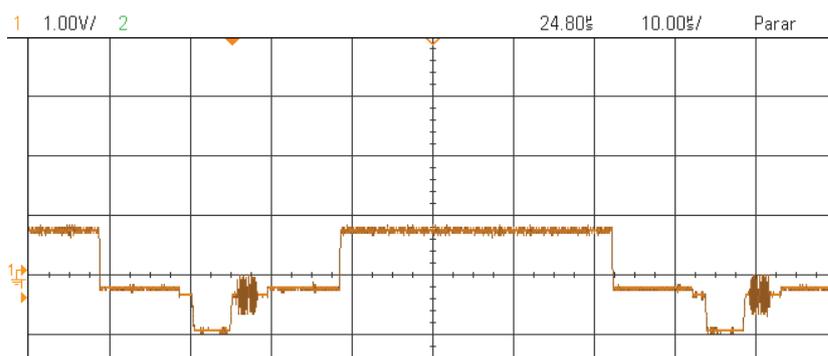


Fonte: próprio autor

## 4.2 CIRCUITO DE INTERFACE

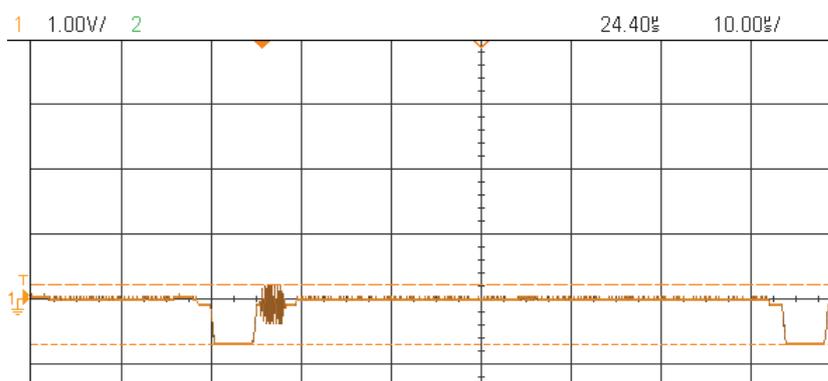
Para que o microcontrolador possa interpretar o sinal de imagem vindo do receptor foi projetado um circuito que transforma o sinal de vídeo composto, que pode ser visto na figura 24, em um sinal DC. Para isso foi feito um detector de envoltória, utilizando apenas um capacitor e um resistor. Observe a diferença de um sinal de vídeo composto com cor, ou seja, quando o sinal está sendo mostrada uma imagem na TV (figura 24), e um sinal sem cor, que ocorre quando nenhuma imagem está sendo mostrada na TV (figura 25). É por meio desta diferença que o microcontrolador irá saber se o sinal do canal desejado está sendo captado. Pois é assumido que quando não existe cor na imagem a antena não está captando o sinal desejado.

Figura 24- sinal de vídeo composto na saída do receptor, quando o sinal está sendo captado



Fonte: próprio autor

Figura 25- sinal de vídeo composto na saída do receptor, quando o sinal não esta sendo captado



Fonte: próprio autor

Como pode ser observado nas figuras 24 e 25 o sinal vindo do receptor tem uma parcela negativa, o que torna necessário o uso de um diodo para que seja eliminada essa parcela do sinal. O componente escolhido foi o diodo 1n4148, pois cumpre a função corretamente.

Além de filtrar as altas frequências, é importante que o capacitor do circuito não se descarregue repentinamente, pelo fato de que é possível que apareçam imagens pretas durante a programação dos canais de TV. Por isso o tempo de descarregamento do capacitor deve ser de pelo menos 6 segundos.

Logo, a partir da equação de descarga do capacitor podemos calcular o valor do capacitor e do resistor do circuito.

$$\ln(Vc) = \frac{-t}{R \cdot C} \quad (18)$$

Onde  $Vc$  é a diferença de potencial que existe no capacitor quando a antena está captando o sinal que vai de 300mV a 1V, e quando a antena não está captando o sinal 300mV, e  $t$  é o tempo de descarga desejado.

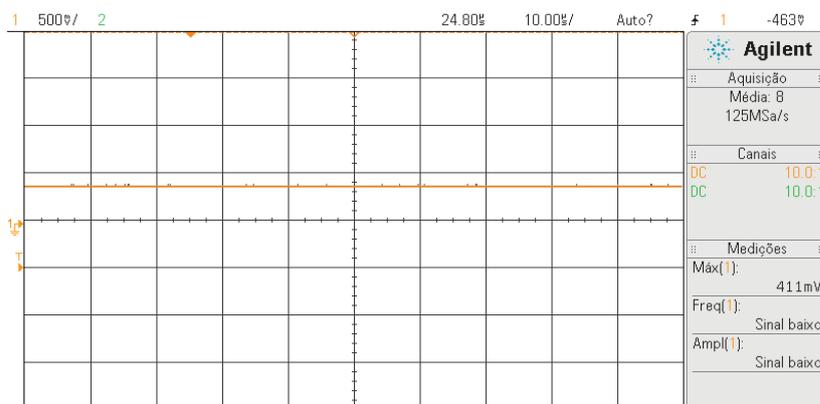
$$\ln(0,7) = \frac{-6}{R \cdot C} \quad (18)$$

$$R \cdot C = 16,8$$

Logo, adotando um capacitor de 100 $\mu$ F, o resistor deve ser de 168,2 K $\Omega$ . O valor usado é de 180 K $\Omega$  pois é o valor comercial que mais se aproxima do valor teórico. Para eliminar ruídos de alta frequência foi adicionado ao circuito um capacitor cerâmico de 100nF.

O sinal filtrado pelo detector de envoltória pode ser observado na figura 26.

Figura 26- sinal filtrado pelo detector de envoltória



Fonte: próprio autor

Depois de o sinal moldado da maneira necessária, foi projetado um amplificador para evidenciar a diferença entre os sinais, de modo que o conversor A/D do micro trabalhe com uma margem de erro maior, apesar de o conversor usado ter uma precisão de 0,81mV.

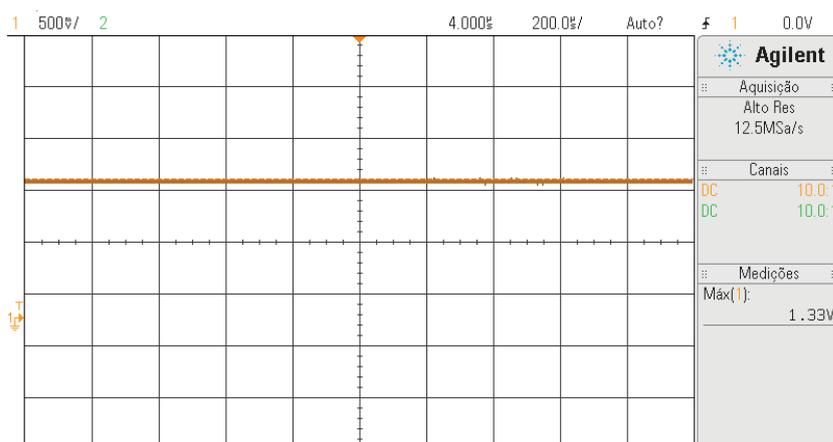
O sinal de vídeo pode ter no máximo 1 V de amplitude, e o conversor A/D trabalha com uma tensão máxima de 3,3 volts. Portanto o ganho do amplificador deve ser de no máximo 3,3. Para evitar problemas, o ganho projetado foi de 2,5.

O amplificador operacional usado foi um LF 353, ele foi escolhido, pelo fato de ter 2 amplificadores no mesmo chip, dando a possibilidade de isolar o circuito detector de envoltória através de um buffer. O buffer se fez necessário pelo fato de o sinal de vídeo ter uma referência de terra diferente da referência do conversor A/D.

O sinal enviado para o microcontrolador quando a antena não está recebendo o sinal do canal desejado, pode ser visto na figura 27.

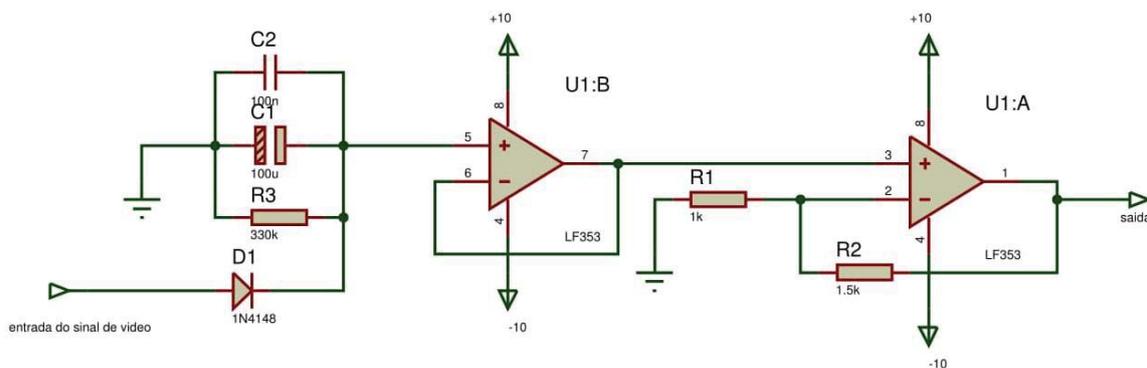
O circuito completo com o detector de envoltória, o buffer e o amplificador pode ser visto na figura 28.

Figura 27 - sinal enviado ao micro



Fonte: próprio autor

Figura 28- circuito de interface receptor/micro



Fonte: próprio autor

### 4.3 FIRMWARE

Para analisar o sinal vindo da interface entre o receptor e o microcontrolador, foi usado o conversor A/D interno do ARM, que tem uma precisão de 12 bits (4096) à uma tensão máxima de 3,3 V, o que gera uma resolução de  $0,81\text{mV} \left( \frac{3,3}{4096} \right)$ .

O sinal da imagem preta tem a grandeza de 0,874 V. Convertendo para o valor digital pela equação 18.

$$\frac{0,874\text{V}}{0,81\text{mV}} = 1080 \quad (19)$$

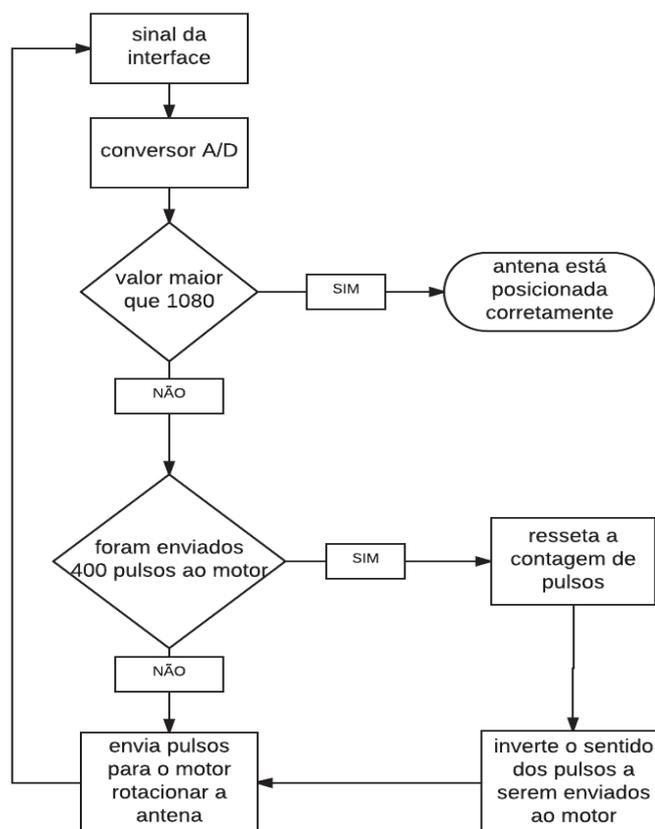
Portanto quando o conversor A/D receber um valor igual ou menos que 1080, o microcontrolador irá enviar uma sequencia de pulsos em sua saída, de modo que faça o motor girar a uma velocidade baixa, e dando pequenas pausas no percurso, para que caso a antena encontre o sinal e ele seja amostrado na TV, o micro para de enviar pulsos em sua saída, deixando o motor posicionado na posição correta.

Para evitar que o cabo que conecta a antena ao receptor se enrole no suporte da antena após o giro, a programação evita que o motor dê mais de uma volta na mesma direção, portanto depois de girar 360°, o que acontece a cada 400 pulsos, o motor começa a girar na direção oposta a anterior, e assim sucessivamente.

O código da programação pode observado no apêndice A.

O fluxograma do firmware, partindo do sinal recebido da interface pode ser observado na figura 29.

Figura 29 -fluxograma do firmware



Fonte: próprio autor

Para que o motor gire na configuração de meio passo, cada bobina do motor foi conectada a um pino de saída do micro, e a sequência de pulsos certa para o giro do motor no sentido horário e anti-horário são apresentadas nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 - sequência de pulsos para o giro do motor no sentido horário

pulsos	bobina 1	bobina 2	bobina 3	bobina 4
0	1	1	0	0
1	0	1	0	0
2	0	1	1	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1
5	0	0	0	1
6	1	0	0	1
7	1	0	0	0
8	1	1	0	0

Fonte: próprio autor

Tabela 4- sequência para giro do motor no sentido anti-horário

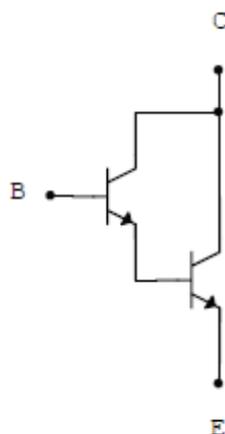
pulsos	bobina 1	bobina 2	bobina 3	bobina 4
0	1	1	0	0
1	1	0	0	0
2	1	0	0	1
3	0	0	0	1
4	0	0	1	1
5	0	0	1	0
6	0	1	1	0
7	0	1	0	0
8	1	1	0	0

Fonte: próprio autor

#### 4.4 CIRCUITO DE POTÊNCIA

O motor usado para girar a antena tem tensão nominal de 6V, e necessita de 1,2 A para atuar. Portanto é necessário um circuito de ganho de corrente para que o micro possa controlá-lo, e para isso foi usado o circuito Darlington de transistores, que é exemplificado na Figura 30.

Figura 30-configuração Darlington de transistores



Fonte: ARNOLD, 2014.

Pela praticidade do uso, foi usado o circuito integrado ULN2803, que possui internamente 8 pares de transistores em Darlington, e cada uma gera até 500 mA em sua saída, portanto quando conectadas em paralelo 3 dessas saídas podem chegar a 1,5 A, o que é suficiente para o consumo do motor.

Como são necessárias quatro saídas de corrente para o motor, foram utilizados dois CIs, e suas entradas e saídas são conectadas em paralelos de 4 em 4, como apresentado na Figura 32.

Para evitar problemas com corrente reversa, foram utilizados optoacopladores para conectar as saídas do micro com o circuito de potência, o CI utilizado foi o 4n25.

De acordo com datasheet do fabricante o ULN 2803 necessita de uma corrente mínima para chavear de 25 mA, por isso foi calculado um resistor para o emissor do CI optoacoplador para que a corrente entregue fosse suficiente para chavear o circuito Darlington interno do ULN 2803.

Assumindo uma tensão  $V_{ce}$  (tensão entre o coletor e o emissor do optoacoplador) dada no datasheet do fabricante como 1 V, e uma corrente mínima de 40 mA no emissor, o resistor pode ser calculado pela equação 19.

$$V_{cc} - V_{ce} - V_e = 0 \quad (20)$$

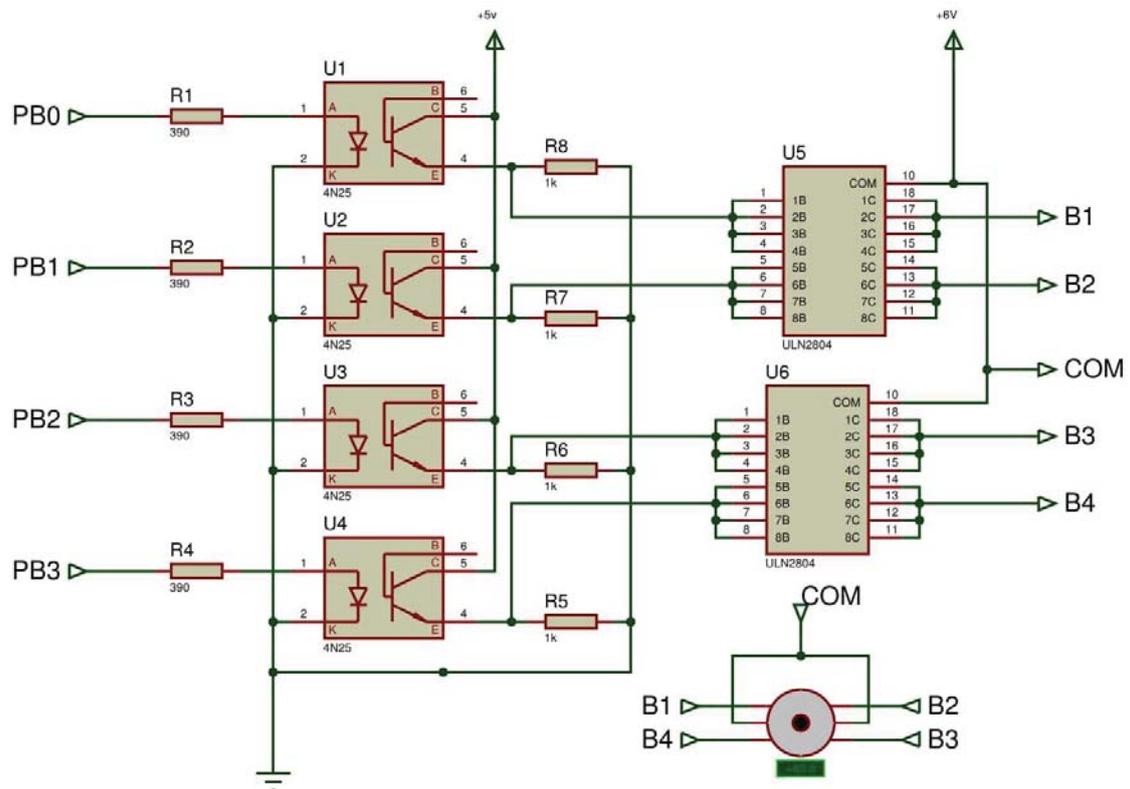
Onde  $V_e = (I_e * R_e)$ , que é a tensão no resistor do emissor do 4N25 e  $V_{cc} = 5V$ , que é a tensão de alimentação do circuito.

$$5 - 1 - (Re \cdot 40mA) = 0 \quad (20)$$

$$Re = 1000 \Omega$$

Na Figura 31 é apresentado o circuito de potência para controle do motor, onde PB0, PB1, PB2 e PB3 são os pinos de saída do microcontrolador,

Figura 31-circuito de potência para controle do motor



Fonte: próprio autor

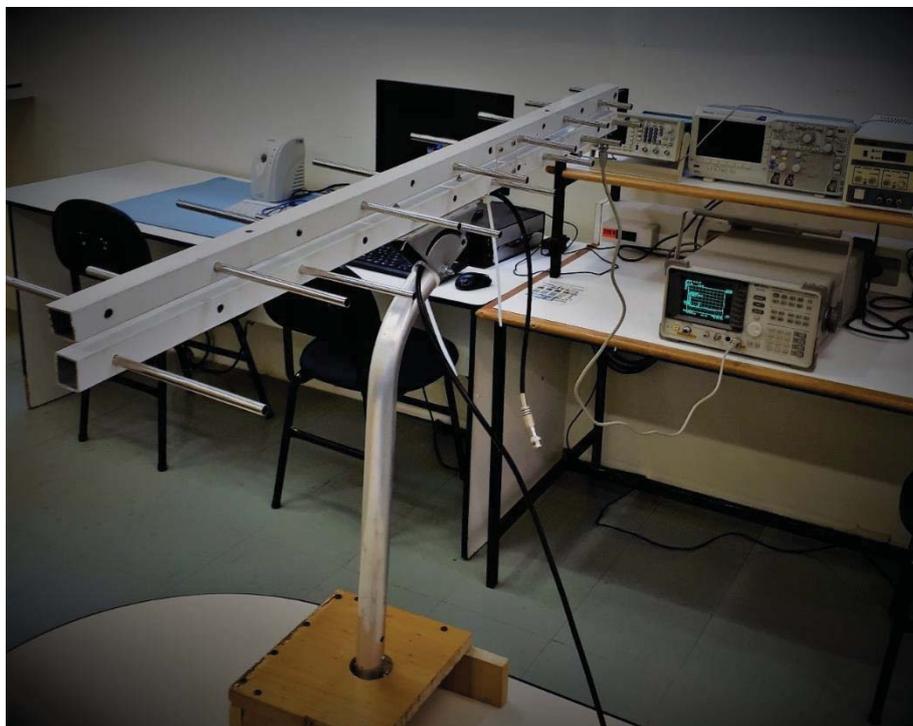
## 5 RESULTADOS

Com o intuito de monitorar o funcionamento das partes atuantes do projeto, foram realizados alguns testes, a partir destes, foi possível avaliar a qualidade da antena, e o comportamento dos circuitos perante todos os casos.

### 5.1 TESTES DA ANTENA

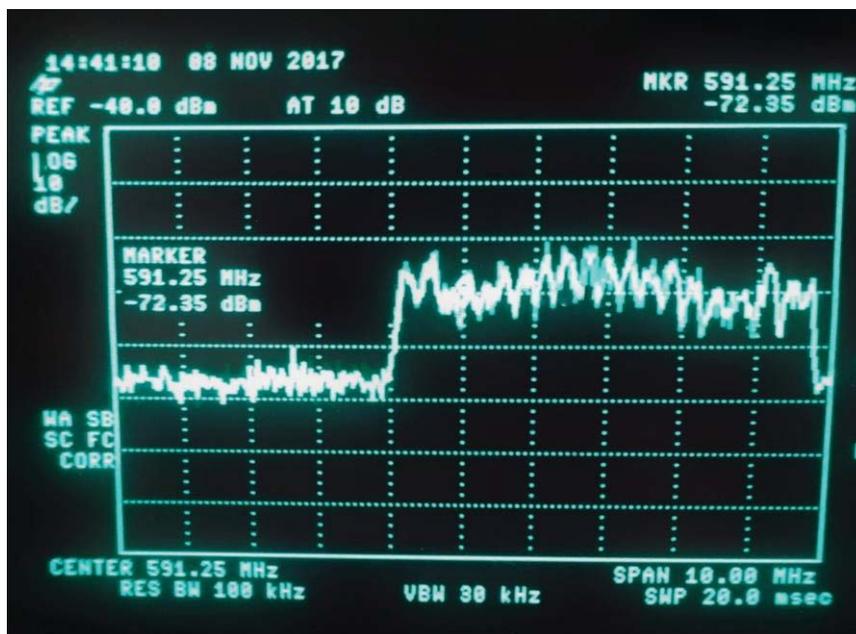
Os testes da antena foram feitos através de um analisador de espectro, de acordo com a Figura 32. Foram selecionadas as frequências dos canais de TV digital disponíveis no local, e analisados os espectros recebidos pela antena. Na Figura 33 pode ser observado o espectro da RBS TV (localizado na frequência de 591.25 MHz).

Figura 32-testes no analisador de espectro



Fonte: próprio autor

Figura 33-espectro da RBS TV



Fonte: próprio autor

Neste teste foi constatado que a antena é capaz de captar todos os canais disponíveis, porém, para isso ela deve ser direcionada para a posição correta para cada canal.

Nas Figuras 34, 35, 36, 37 e 38, podem ser observadas as imagens dos canais captados pela antena, que são: RBS TV, Rede Bandeirantes, Rede Record, Rede Vida e SBT respectivamente.

Figura 35- imagem RBS TV



Fonte: próprio autor

Figura 34- imagem Rede Bandeirantes



Fonte: próprio autor

Figura 36- imagem Rede Record



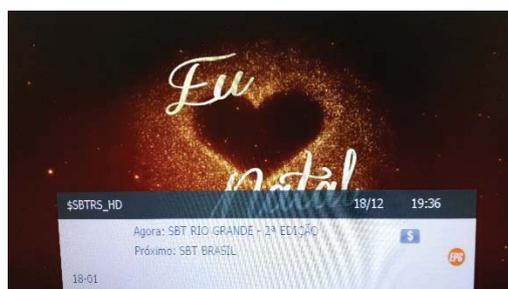
Fonte :próprio autor

Figura 37- imagem Rede Vida



Fonte: próprio autor

Figura 38- imagem SBT



Fonte: próprio autor

As imagens dos canais foram obtidas dentro do laboratório de comunicação da Universidade de Passo Fundo, e com a antena apontada para a região nordeste, como mostra a figura 39.

Figura 39- direção da antena

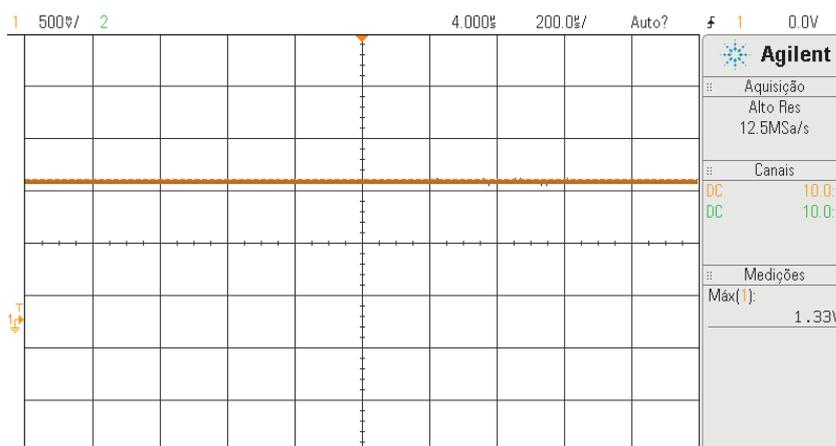


Fonte: próprio autor

## 5.2 ANALISE DOS SINAIS DO CIRCUITO DE INTERFACE

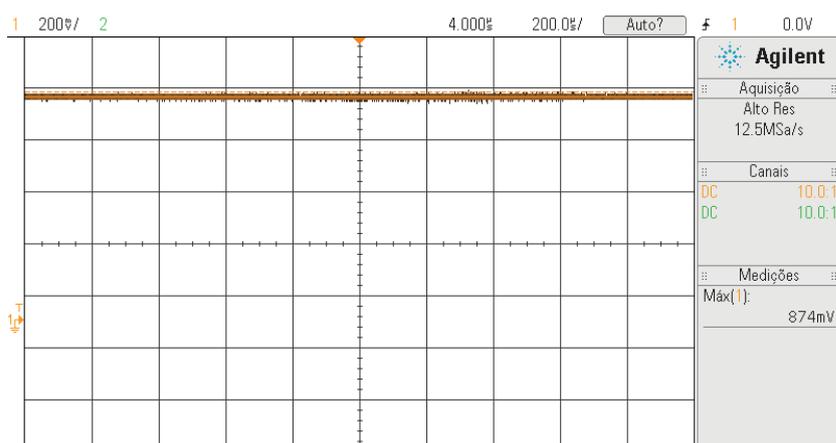
Este ensaio foi realizado para saber os reais valores do sinal DC do circuito, tanto para quando a antena está captando o sinal, quanto para o contrário. Na Figura 40 é observado o sinal enviado ao micro quando a antena está posicionada corretamente (1,33V), e na Figura 41 quando ela não está na posição certa (0,874 V).

Figura 40-sinal enviado quando a antena está na posição certa



Fonte: próprio autor

Figura 41-sinal enviado quando a antena não está na posição certa



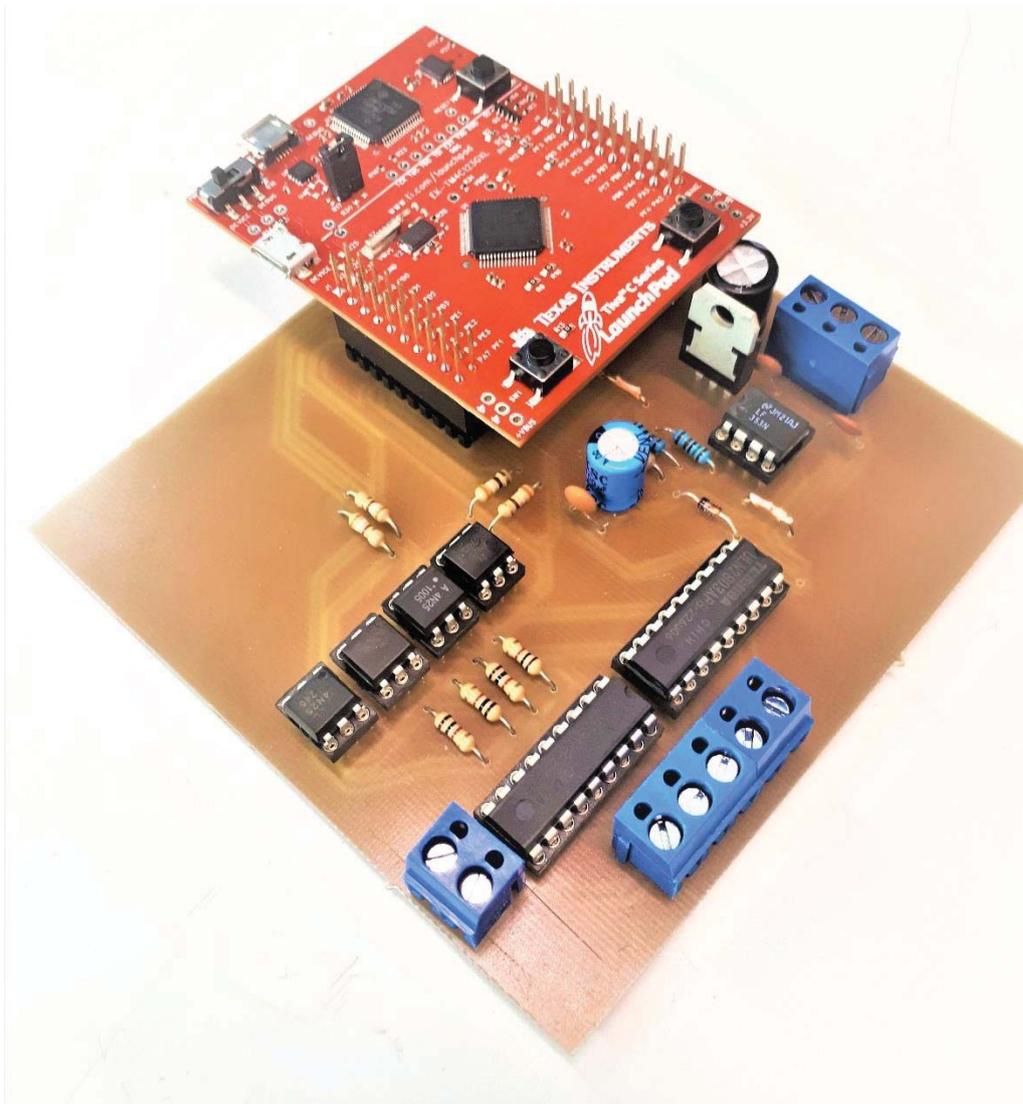
Fonte: próprio autor

### 5.3 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Após realizados os testes para cada circuito separadamente, foi impressa uma placa contendo todos os circuitos, incluindo o microcontrolador, esta placa necessita de 2 fontes, uma para a alimentação do circuito de potência e outra para a alimentação do amplificador e do microprocessador. Para a alimentação do micro foi utilizado um regulador de tensão LM 7805 já que o amplificador é alimentado com +10V e -10V e o micro por sua vez

necessita de apenas 5V em sua entrada. Foi adicionado a saída do regulador um capacitor de  $220\mu\text{F}$  para eliminar ruídos. A placa é mostrada na Figura 42.

Figura 42-placa de circuito impresso



Fonte: próprio autor

## 6 CONCLUSÃO

Após todos os estudos de caso feitos e testes realizados, ficou clara a necessidade de uma antena adequada para a captação do sinal de TV digital, isso porque sem a antena o receptor não conseguiu captar o sinal de nenhum canal, deixando explícito que a abrangência do sinal digital de televisão ainda é muito pequena, e fato de a TV digital se tornar absoluta dentro de alguns anos evidencia a importância deste trabalho.

O presente trabalho apresenta uma antena de alta qualidade, calculada minuciosamente, e que é capaz de captar todos os sinais desejados em seu projeto. Além de um circuito simples capaz de automatizar a antena eliminando qualquer erro de ajuste humano que possa ocorrer durante a instalação da mesma.

O produto deste projeto provou sua funcionalidade, fazendo com que a antena se posicionasse de maneira correta para cada canal desejado, porém alguns ajustes podem ser feitos para o aperfeiçoamento do projeto, como a troca do motor e o acoplamento mecânico entre a antena e o motor, para tornar o giro da antena mais suave e preciso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, Francisco José. ALBANO, Rony da Silva. SANTOS, Talía Simões dos. **Amplificadores com transistores bipolares na configuração Darlington para pequenos sinais.** Divisão de Telecomunicações, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas: 27 de Marzo de 2014.
- BALANIS, Constantine A. **Teoria das antenas: Análise e síntese.** 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.
- BRAGA, Newton C. **Antenas.** Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/telecom-artigos/1711-tel008.html>>. Acesso em: 12 mai. 2017
- BRAGA, Newton C. **Problemas na recepção de TV.** [1995]. Disponível em: <[www.newtonbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/6244-tel0051](http://www.newtonbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/6244-tel0051)>. Acesso em: 8 mai. 2017
- BRASIL. IBOPE. Secretaria de Comunicação Social. **Pesquisa Brasileira de Mídia – 2016: relatório final.** Brasília, 2016
- BRITO FILHO, Francisco X. M. **Redes Wi-fi I: Estudo de Caso.** [2014]. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifimanas1/default.asp>>. Acesso em: 10 mai. 2017
- DANJOVIC. **Sinais de sincronismo da TV analógica e micros antigos.** [2015]. Disponível em: <<http://danjovic.blogspot.com.br/2015/02/sinais-de-sincronismo-da-tv-analogica-e.html>>. Acesso em: 20 mai. 2017
- DORES, Ailson das; PESSANHA, Renata Amaral. **UM ESTUDO SOBRE A DISPOSIÇÃO DO SINAL DE TV DIGITAL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES.** 2015. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.
- FARIAS, Paulo César Bento. **Redes Wireless.** [ 2006]. Disponível em: <[www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless003.asp](http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless003.asp)> Acesso: 10 mai. 2017
- GOMES D'ASSUNÇÃO, Adaildo. **Antenas e suas aplicações.** [2014]. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/pedrohenriquedemedeiros1/antenas-e-suas-aplicacoes-caps12-27011417h55m-1>> Acesso em: 11 mai. 2017
- LIMA JUNIOR, Almir Wirth. **Formação e aperfeiçoamento profissional em Telecomunicações & Redes de Computadores.** Rio de Janeiro: Axcel Books, 2003.
- MENDES TEIXEIRA, Mariane. **Ondas Eletromagnéticas.** [2017] Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-eletromagneticas.htm>>. Acesso em: 8 mai. 2017.

MENDES, Wanessa Tarão. **Conceitos básicos de antenas**. [2012]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAekLwAH/conceitos-basicos-antenas>> Acesso em: 15 mai. 2017

RODRIGUES, Bruno Fialho. **Sistemas de Edição para TV I: Estudo de Caso de Sistemas Integrados de Edição Não-Linear**. [2010]. Disponível em: <<http://www.te-leco.com.br/tutoriais/tutorialsisedtv/default.asp>>. Acesso em: 20 mai. 2017

SANTOS, Vitor. **Antenas: Conceitos elementares**. [2012]. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/diogolourenco1/cap5-2012>> Acesso em: 15 mai. 2017

SILVA, Gilberto Vianna Ferreira da. **Telecomunicações: sistemas de radiovisibilidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

SILVA, Fabricio Trindade. PEREIRA, Lucas Santos. **Estudo de uma antena log-periódica para sistemas de medições de campos irradiados**. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.

YOUNG, Paul H. **Técnicas de comunicação eletrônica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

## APÊNDICE A FIRMWARE

```

#include <stdint.h>
#include <stdbool.h>
#include "inc/hw_memmap.h"//mapa de memoria
#include "driverlib/gpio.h"
#include "driverlib/adc.h"
#include "driverlib/sysctl.h"
#include <stdint.h>
#include "inc/tm4c123gh6pm.h"
#include "driverlib/uart.h"
#include "utils/uartstdio.h"

#define GPIO_PA0_U0RX 0x00000001
#define GPIO_PA1_U0TX 0x00000401
#define PB3210  (*((volatile unsigned long*)0x4000503C))
uint32_t ADC1Value[1];
int y=0, z=0, X=0;
void AD_IntHandler(void);
{
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOA);
GPIOPinConfigure(GPIO_PA0_U0RX);
GPIOPinConfigure(GPIO_PA1_U0TX);
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_UART0);
GPIOPinTypeUART(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1);
}
void main(void)
{
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_ADC1);//ad
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOD);//interrupcao pd
GPIOPinTypeADC(GPIO_PORTD_BASE, GPIO_PIN_0);//pin 0
ADCSequenceConfigure(ADC1_BASE, 3, ADC_TRIGGER_ALWAYS, 0);
ADCSequenceStepConfigure(ADC1_BASE, 3, 0, ADC_CTL_CH7 | ADC_CTL_IE |
ADC_CTL_END);

```

```

ADCHardwareOversampleConfigure(ADC1_BASE, 64)
ADCSequenceEnable(ADC1_BASE, 3);
ADCIntRegister(ADC1_BASE,3,AD_IntHandler);
ADCIntEnable(ADC1_BASE, 3);
SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOB);//conteudo dela é a porta no caso
porta B
GPIOPinTypeGPIOOutput (GPIO_PORTB_BASE,GPIO_PIN_3|GPIO_PIN_2
|GPIO_PIN_1|GPIO_PIN_0); //porta base B, 4 pinos como saida

while(1);
}
void AD_IntHandler(void)
{
programa:
y=0;
z=0;
ADCIntClear(ADC1_BASE, 3); //LIMPA A INTERRUPÇÃO DO AD
ADCSequenceDataGet(ADC1_BASE, 3, ADC1Value); // PEGA O VALOR DA RES-
POSTA
ADCIntClear(ADC1_BASE, 3); //LIMPA A INTERRUPÇÃO DO AD
ADCSequenceDataGet(ADC1_BASE, 3, ADC1Value); // PEGA O VALOR DA RES-
POSTA
SysCtlDelay(250000);
if(ADC1Value[0]<1080) y=1;

while(y)
{
ADCIntClear(ADC1_BASE, 3); //LIMPA A INTERRUPÇÃO DO AD
ADCSequenceDataGet(ADC1_BASE, 3, ADC1Value); // PEGA O VALOR DA RES-
POSTA

PB3210=0x3;
X++;

```

```
SysCtlDelay(250000);  
    if (X==49)  
        { SysCtlDelay(10000000); }
```

```
PB3210=0x2 ;  
    X++;  
SysCtlDelay(250000);  
    if (X==250)  
{SysCtlDelay(10000000);}
```

```
PB3210= 0x6;  
    X++;  
SysCtlDelay(250000);  
  
    if (X==99)  
{SysCtlDelay(10000000);}
```

```
PB3210= 0x4;  
    X++;  
SysCtlDelay(250000);
```

```
if (X==300)  
{SysCtlDelay(10000000);}
```

```
PB3210= 0xc;  
    X++;  
SysCtlDelay(250000);  
    if (X==149)  
{SysCtlDelay(10000000);}
```

```
PB3210=0x8;
  X++;
SysCtlDelay(250000);

  if (X==350)
  {SysCtlDelay(10000000);}

PB3210=0x9;
  X++;
SysCtlDelay(250000);

  if (X==199)
  {SysCtlDelay(10000000);}

  PB3210=0x1;
  X++;
  SysCtlDelay(250000);

  if(ADC1Value[0]>1080)
  {
    z=0;

goto programa;
  }
  if (X>399)
  {
z=1;
SysCtlDelay(25000000);
goto zi;
  }
zi:
while(z)
{
  ADCIntClear(ADC1_BASE, 3); //LIMPA A INTERRUPÇÃO DO AD
```

```
ADCSequenceDataGet(ADC1_BASE, 3, ADC1Value); // PEGA O VALOR DA RES-  
POSTA
```

```
PB3210=0x1;  
X++;  
SysCtlDelay(250000);  
    if (X==449)  
        {SysCtlDelay(10000000);}
  
if (X==649)  
    {SysCtlDelay(10000000);}
}
  
PB3210=0x9 ;  
X++;  
SysCtlDelay(250000);
  
PB3210= 0x8;  
X++;  
SysCtlDelay(250000);
  
    if (X==499)  
    {SysCtlDelay(10000000);}
    if (X==699)  
    {SysCtlDelay(10000000);}
  
PB3210= 0xc;  
X++;  
SysCtlDelay(250000);
  
PB3210= 0x4;  
X++;  
SysCtlDelay(250000);  
if (X==549)
```

```
{SysCtlDelay(1000000);}
if (X==749)
{SysCtlDelay(1000000);}

PB3210=0x6;
  X++;
SysCtlDelay(250000);

PB3210=0x2;
  X++;
SysCtlDelay(250000);

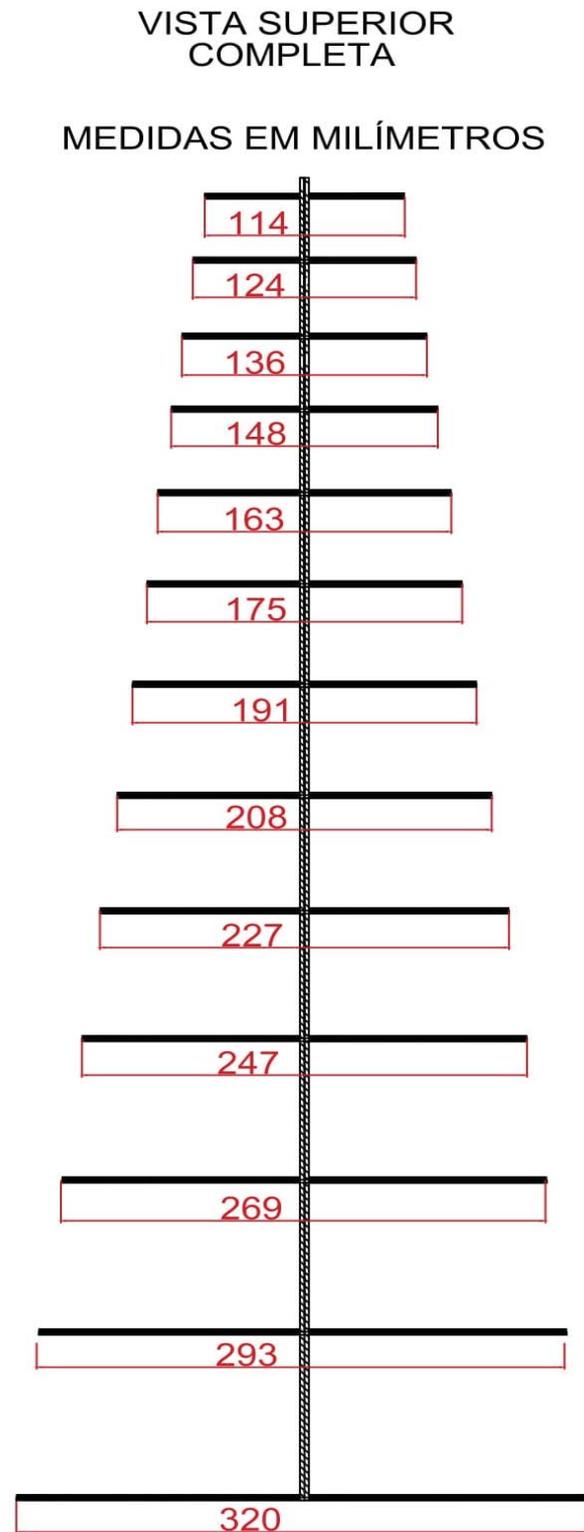
  if (X==599)
{SysCtlDelay(1000000);}

  PB3210=0x3;
  X++;
  SysCtlDelay(250000);

if(ADC1Value[0]>1080)
{
  y=0;
goto programa;
}
  if (X>799)
{
z=0;
X=0;
y=1;
SysCtlDelay(2500000);
}
}}}
```

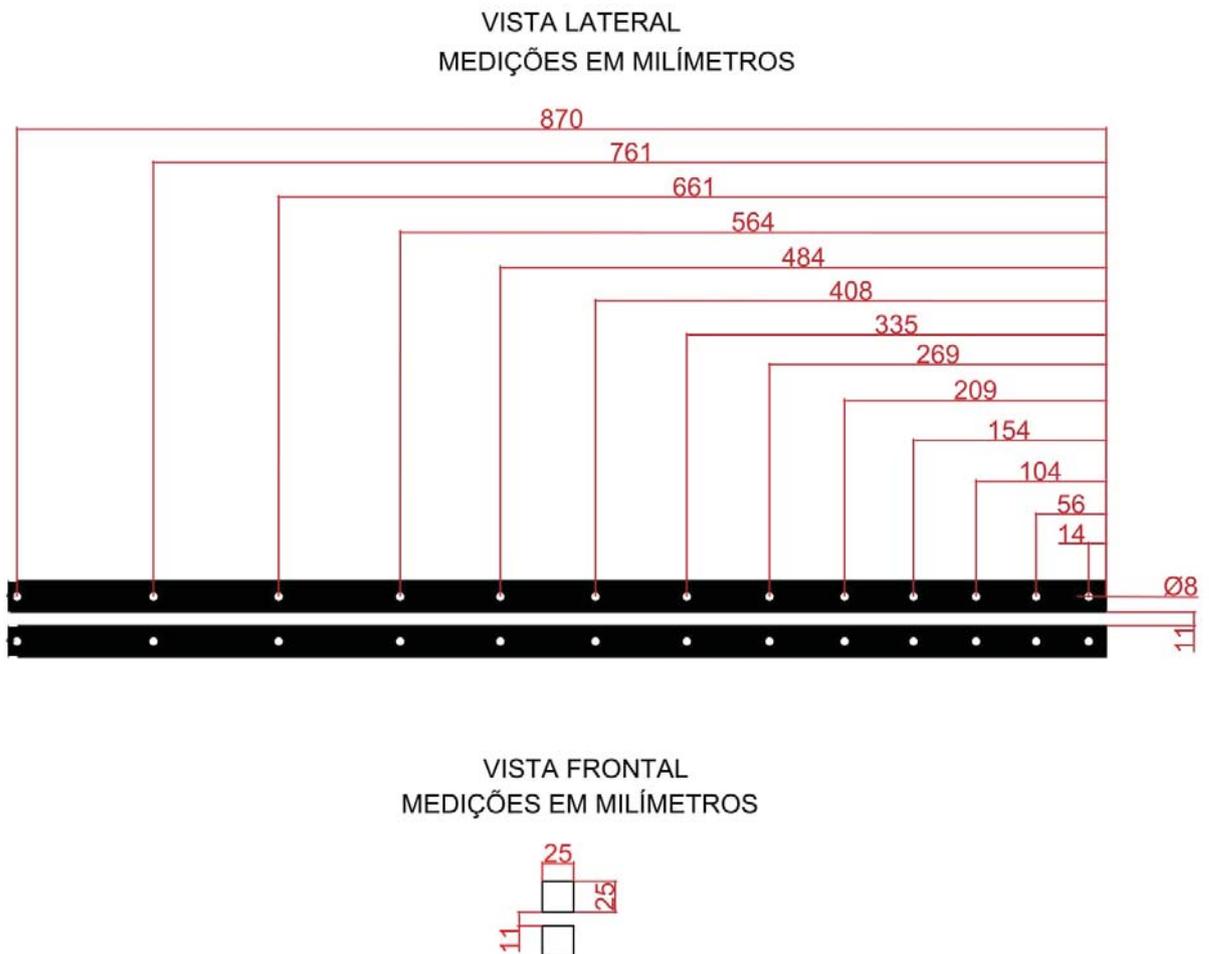
## APÊNDICE B DIMENSÕES DA ANTENA

Figura 43- vista superior da antena



## APÊNDICE C DIMENSÕES DA ANTENA

Figura 44- vista lateral e frontal da antena



Fonte: próprio autor

## APÊNDICE D DIMENSÕES DA ANTENA

Figura 45- vista superior das duas partes da antena separadas

