



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**  
**SEMESTRE 2024.2**

**Projeto Individual - Antena Yagi-Uda**

**ALUNO: João Vitor de Oliveira Fraga - 537377**

**CURSO: Engenharia de Telecomunicações**

**PROFESSOR: Sérgio Antenor de Carvalho**

**DISCIPLINA: TI0065 - Antenas**

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>4</b>
2.1	Estrutura da Antena Yagi-Uda . . . . .	4
2.2	Princípios de Operação . . . . .	5
2.3	Parâmetros Fundamentais . . . . .	5
2.4	Parâmetro $S_{11}$ . . . . .	6
2.5	Características de Radiação . . . . .	7
2.6	Aplicações . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Projeto da Antena</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>9</b>
4.1	Antena com frequência $f_1 = 2.4$ GHz . . . . .	9
4.2	Antena com frequência $f_2 = 600$ MHz . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Códigos</b>	<b>15</b>
	<b>Referências</b>	<b>20</b>

# 1 Introdução

A antena Yagi-Uda, frequentemente chamada apenas de antena Yagi, é uma invenção marcante no campo das telecomunicações. Criada na década de 1920 pelos engenheiros japoneses Shintaro Uda e Hidetsugu Yagi, esta antena revolucionou a forma como os sinais de rádio e televisão eram transmitidos e recebidos, especialmente em frequências mais altas, como as bandas Very High Frequency (VHF) e Ultra High Frequency (UHF).

Embora o projeto inicial e a ideia da antena tenham sido concebidos por Shintaro Uda, foi Hidetsugu Yagi quem patenteou a invenção e popularizou seu uso fora do Japão, particularmente em países ocidentais, principalmente pelo fato de que o mesmo publicou um artigo em inglês [1]. Essa parceria resultou em um dispositivo notável, caracterizado por sua alta diretividade e capacidade de amplificar sinais direcionais, tornando-se uma solução essencial em sistemas de rádio, televisão e comunicações ponto a ponto.

A antena Yagi-Uda possui uma estrutura simples, composta por um elemento ativo (geralmente um dipolo), um refletor e vários diretores. Esse arranjo permite um desempenho eficiente, maximizando o ganho em uma direção específica e minimizando interferências, o que foi um grande avanço para a época. Além disso, sua construção leve e econômica contribuiu para sua adoção em larga escala, sendo bem simples de ser feita. Um exemplo básico seria o da imagem abaixo:

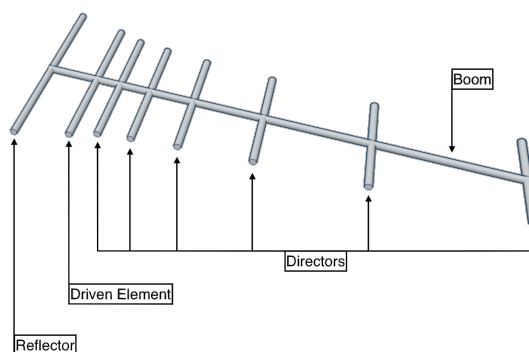


Figura 1: Antena Yagi-Uda.

Este trabalho aborda os fundamentos teóricos da antena Yagi-Uda, sua história, o design e as simulações, destacando aplicações práticas e apresentando um projeto detalhado

utilizando o software MATLAB. A análise inclui desde os princípios de funcionamento até o comportamento direcional, com foco em seu impacto e relevância em diversos setores das telecomunicações.

## 2 Fundamentação Teórica

A antena Yagi-Uda é um arranjo de elementos condutores projetados para otimizar a emissão ou recepção de ondas eletromagnéticas em uma direção específica. Ela combina elementos ativos e passivos de forma a obter alta diretividade e ganho, características desejáveis em diversas aplicações de telecomunicações. A seguir, exploramos os principais aspectos técnicos e operacionais desta antena.

### 2.1 Estrutura da Antena Yagi-Uda

- **Elemento Ativo (Dipolo):** Este é o componente fundamental que gera ou capta o sinal eletromagnético. É um dipolo ressonante, geralmente projetado com comprimento próximo a  $0,48\lambda$ , onde  $\lambda$  é o comprimento de onda correspondente à frequência operacional da antena. Funciona como o principal radiador, enquanto os elementos passivos ajustam e direcionam a energia.
- **Refletor:** Posicionado atrás do elemento ativo, possui comprimento maior ( $\sim 1,01L_d$ ), garantindo que a radiação na direção oposta seja minimizada. Atua refletindo ondas eletromagnéticas de volta ao dipolo, aumentando a potência radiada para a frente.
- **Diretores:** Colocados na frente do dipolo, são elementos progressivamente menores, com comprimento típico de  $0,4\lambda$  a  $0,45\lambda$ . Cada diretor concentra e direciona o feixe principal, aumentando a diretividade e o ganho. No entanto, a partir de um certo número de diretores, o aumento no ganho torna-se marginal, pois o sistema atinge um ponto em que o impacto adicional de novos elementos no padrão de radiação é mínimo. Assim, é importante balancear o número de diretores com a complexidade do projeto e os requisitos de aplicação.
- **Espaçamento entre os Elementos:** O espaçamento ideal entre os elementos é crucial para o desempenho. Ele varia de  $0,2\lambda$  a  $0,4\lambda$ , dependendo da frequência e dos requisitos

de ganho.

## 2.2 Princípios de Operação

A antena Yagi-Uda funciona com base no conceito de acoplamento mútuo entre os elementos passivos e o elemento ativo:

- **Correntes Induzidas:** Os elementos passivos não estão conectados diretamente à fonte de energia. Em vez disso, as correntes nesses elementos são induzidas pelo acoplamento eletromagnético com o elemento ativo.
- **Defasagem das Correntes:** O refletor e os diretores são projetados para ter defasagens específicas que reforçam a radiação na direção principal.
  - *Refletores:* Induzem correntes defasadas negativamente, contribuindo para a supressão do lóbulo traseiro.
  - *Diretores:* Induzem correntes progressivamente em fase, reforçando a radiação na direção frontal.

A combinação desses fatores cria um padrão de radiação *end-fire*, onde a máxima radiação ocorre ao longo do eixo principal da antena.

## 2.3 Parâmetros Fundamentais

- **Diretividade ( $D$ ):** A diretividade mede a concentração da radiação em uma direção específica. É definida como:

$$D = \frac{\text{Intensidade de radiação máxima}}{\text{Intensidade de radiação média}}$$

Na prática, o ganho ( $G$ ) é a diretividade ajustada para incluir perdas. O ganho típico de uma antena Yagi-Uda varia de 7 a 20 dBi, dependendo do número de elementos.

- **Impedância de Entrada ( $Z_c$ ):** A impedância da antena deve ser compatível com a impedância do sistema transmissor/receptor para minimizar reflexões e perdas de potência. Antenas Yagi-Uda geralmente apresentam baixa impedância, que pode ser ajustada adicionando elementos ou adaptadores.

- **Largura de Banda:** A largura de banda é o intervalo de frequências em que a antena mantém desempenho adequado. Para uma antena Yagi-Uda, a largura de banda é relativamente estreita ( $\sim 2\% - 5\%$  da frequência central), sendo suficiente para aplicações em frequência fixa.
- **Relação Frente-Costas ( $F/B$ ):** Mede a razão entre a intensidade de radiação na direção principal e na direção oposta (lóbulo traseiro). Valores típicos para a relação frente-costas estão entre 15 e 25 dB.
- **Eficiência:** A eficiência reflete as perdas no sistema e é definida como a razão entre a potência radiada e a potência total fornecida à antena.

## 2.4 Parâmetro $S_{11}$

O parâmetro  $S_{11}$ , também conhecido como coeficiente de reflexão, é uma medida utilizada para avaliar a eficiência do acoplamento de energia entre a linha de transmissão e a antena. Ele indica a fração de potência refletida de volta pela antena em relação à potência incidente.

Matematicamente, é expresso como:

$$S_{11} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{\text{refletida}}}{P_{\text{incidente}}} \right) [\text{dB}],$$

onde  $P_{\text{refletida}}$  é a potência refletida e  $P_{\text{incidente}}$  é a potência incidente.

Valores de  $S_{11}$  são geralmente expressos em decibéis (dB):

- $S_{11} \leq -10\text{dB}$ : Indica um bom acoplamento, com menos de 10% da potência refletida.
- $S_{11} > -10\text{dB}$ : Indica um acoplamento ineficiente, com maior fração de potência refletida.

Um  $S_{11}$  baixo significa que a maior parte da energia incidente é transmitida para a antena, reduzindo as perdas por reflexão. Este parâmetro é diretamente relacionado ao casamento de impedância entre a antena e a linha de transmissão, que idealmente deve ser de  $50\Omega$ .

No gráfico de  $S_{11}$ , o ponto de menor valor indica a frequência de ressonância da antena, onde o desempenho de acoplamento é máximo. Antenas bem projetadas buscam alcançar

valores de  $S_{11}$  menores que  $-10\text{dB}$  na faixa de operação desejada, garantindo eficiência na transmissão e recepção de sinais.

## 2.5 Características de Radiação

- **Padrão de Radiação:** A antena Yagi-Uda exibe um padrão de radiação direcional, com um lóbulo principal proeminente na direção frontal e lóbulos secundários reduzidos. O padrão de radiação no plano horizontal (plano H) é mais estreito, enquanto no plano vertical (plano E) apresenta um ângulo de elevação mais amplo, como mostrado na Fig 2.

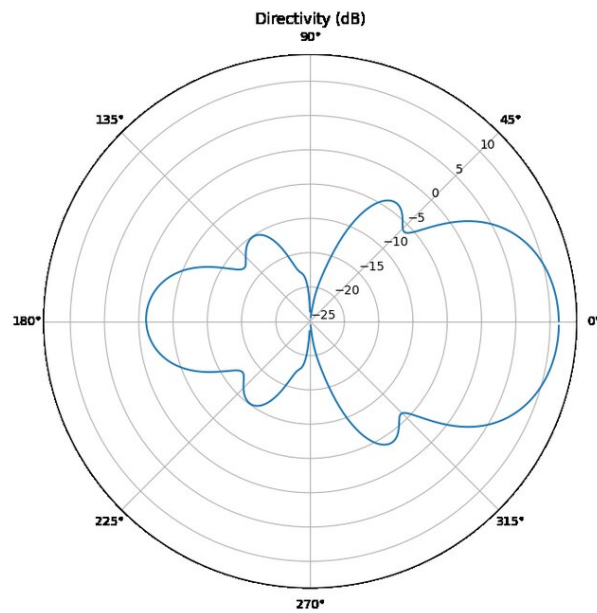


Figura 2: Antena Yagi-Uda.

- **Fatores que Influenciam o Padrão:** Comprimento dos elementos, número de diretores e espaçamento entre os elementos são os principais fatores que determinam o padrão de radiação.

## 2.6 Aplicações

A antena Yagi-Uda tem uma ampla gama de aplicações devido à sua alta diretividade e ganho:

- **Transmissão de Rádio e TV:** Utilizada como antena receptora para sinais de VHF e UHF.
- **Redes Wireless:** Ideal para conexões ponto a ponto de longo alcance ou para amplificação de sinal Wi-Fi.
- **Radioastronomia e Rastreamento de Satélites:** Suas propriedades direcionais são úteis para focar em regiões específicas do céu ou em satélites em movimento.
- **Comunicação de Emergência e Longa Distância:** Usada em áreas rurais e para manter conectividade em cenários de desastre.

## 3 Projeto da Antena

Para o projeto da antena, trabalharemos com dois modelos distintos, com o objetivo de avaliar como a variação dos parâmetros afeta o desempenho da antena.

O primeiro modelo terá uma frequência de operação de  $f_1 = 2.4$  GHz, pertencente à faixa utilizada em redes Wi-Fi, dispositivos industriais, científicos e médicos (ISM). Nesta antena, utilizaremos 5 diretores para obter um padrão de radiação adequado para conexões locais e diretas.

O segundo modelo utilizará uma frequência UHF de  $f_2 = 600$  MHz, que pertence à faixa de TV Digital, conforme regulamentado pela Anatel [2]. Esse modelo será projetado com 9 diretores, visando atender à necessidade de maior ganho em frequências mais baixas.

Os parâmetros das antenas foram definidos de acordo com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) de cada frequência, conforme apresentado na Tabela 1:



Parâmetro	Valor Relativo a $\lambda$	Descrição
$L$	$0.4355\lambda$	Comprimento do dipolo
$L_l$	$0.01115\lambda$	Largura do dipolo
$S_d$	$0.0057\lambda$	Espaçamento entre os condutores do dipolo

Tabela 1: Parâmetros da antena Yagi-Uda.

Para os cálculos, utilizamos os seguintes comprimentos de onda:  $\lambda_1 = 0.125$  m para  $f_1 = 2.4$  GHz e  $\lambda_2 = 0.5$  m para  $f_2 = 600$  MHz.

A simulação e o projeto foram realizados utilizando a biblioteca “Antenna Designer” do MATLAB [3]. Os códigos referentes a cada modelo estão disponíveis em [1] para  $f_1$  e em [2] para  $f_2$ .

## 4 Resultados

### 4.1 Antena com frequência $f_1 = 2.4$ GHz

A estrutura da antena é definida na Fig. 3, apresenta diretores, o refletor e o elemento ativo (dipolo dobrado), otimizados para operar nessa frequência. A distribuição dos elementos destaca um padrão compacto, típico para frequências mais altas.

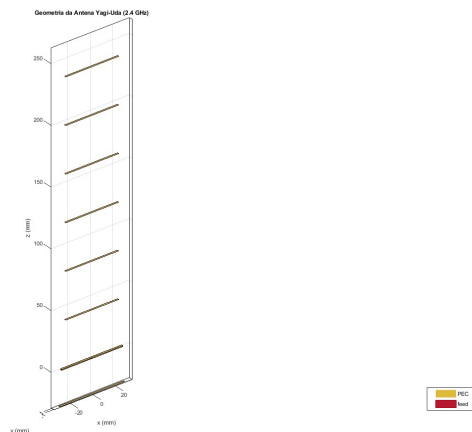


Figura 3: Estrutura Yagi-Uda 2.4 GHz.

Já sobre a diretividade, temos o plot em 3D dado na Fig. 4, que quando vemos ela no plano azimutal (Fig. 5a) o padrão de radiação em azimuth mostra um ganho direcional principal bem definido, com lóbulos laterais pequenos, destacando a diretividade eficiente para essa frequência.

Já no plano de elevação (Fig. 5b) o padrão de radiação em elevação apresenta características similares, com concentração do feixe na direção principal e redução de lóbulos indesejados.

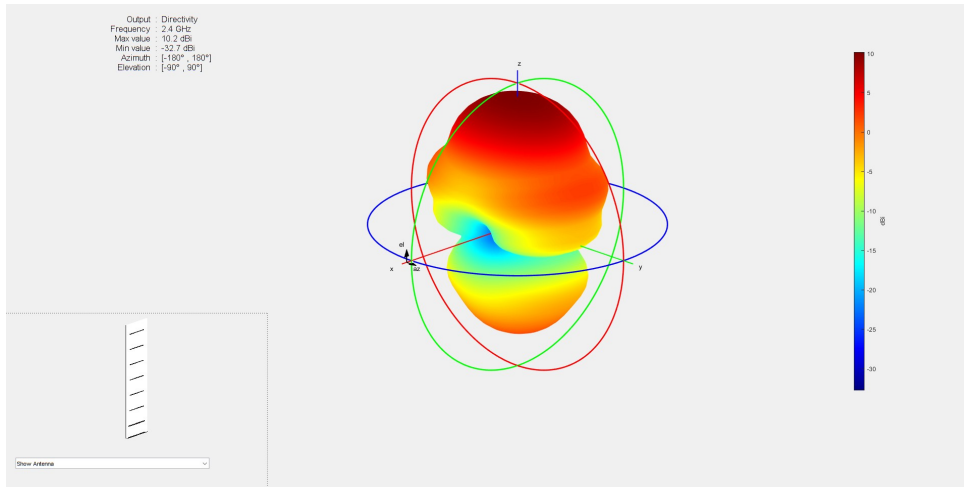
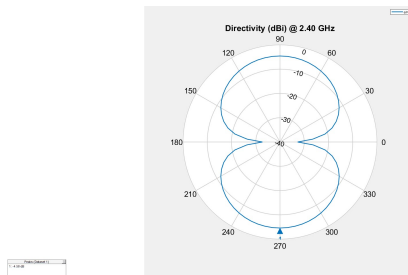
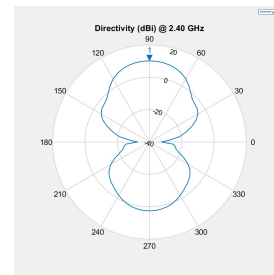


Figura 4: Diretividade 3D 2.4 GHz.



(a) Plano Azimutal



(b) Plano de Elevação

Figura 5: Diretividade da Antena

Na Fig. 6 podemos ver que impedância varia ao longo da faixa analisada (2.16 GHz a 2.64 GHz). A resistência mantém valores próximos de  $50 \Omega$  em torno da frequência central e a reatância flutua ao longo da faixa, mas permanece dentro de limites aceitáveis para casamento de impedância.

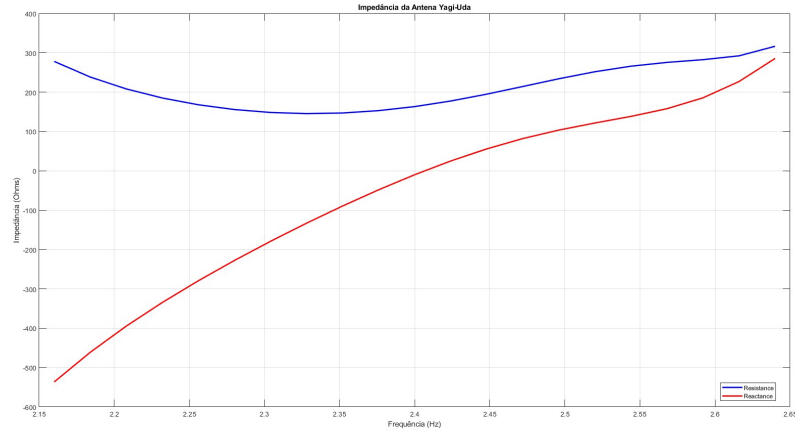


Figura 6: Impedância 2.4 GHz.

A Fig. 7 mostra um valor mínimo em torno de  $-5$  dB na frequência de 2.4 GHz. Esse valor indica um acoplamento razoável entre a antena e a linha de transmissão, mas poderia ser melhorado com ajustes nos parâmetros de design.

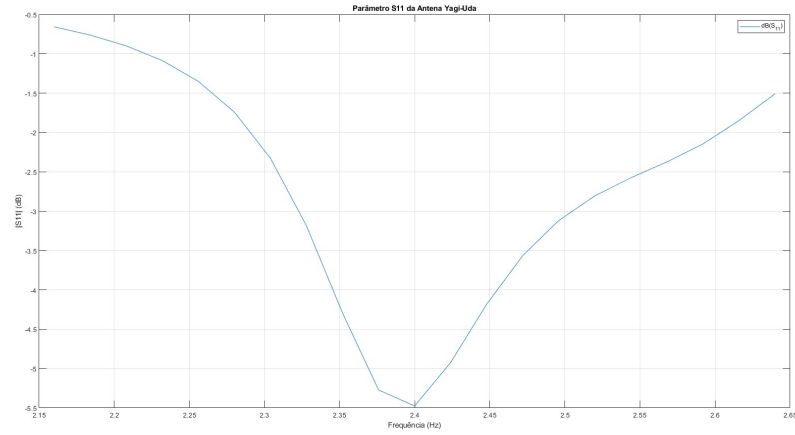


Figura 7: Parâmetro  $S_{11}$  2.4 GHz.

## 4.2 Antena com frequência $f_2 = 600$ MHz

A estrutura da antena é definida na Fig. 8, apresenta diretores, o refletor e o elemento ativo (dipolo dobrado), otimizados para operar nessa frequência. Os elementos são espaçados proporcionalmente ao comprimento de onda ( $\lambda$ ), refletindo o design para frequências UHF.

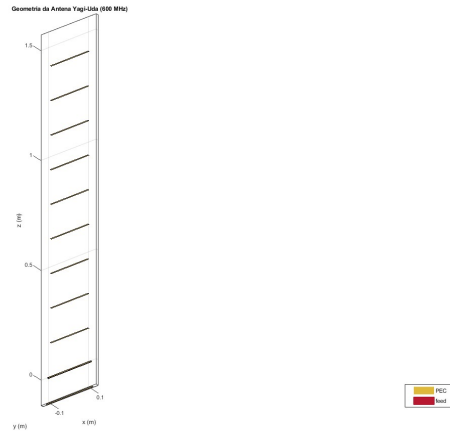


Figura 8: Estrutura Yagi-Uda 600 MHz.

Já sobre a diretividade, temos o plot em 3D dado na Fig. 9, que quando vemos ela no plano azimutal (Fig. 10a) O padrão de radiação em azimuth mantém a característica direcional, porém com lóbulos laterais mais evidentes em comparação à antena de 2.4 GHz.

Já no plano de elevação (Fig. 10b) é similar ao padrão de azimuth, apresentando maior dispersão do feixe principal em relação à antena de 2.4 GHz, devido à menor frequência de operação.

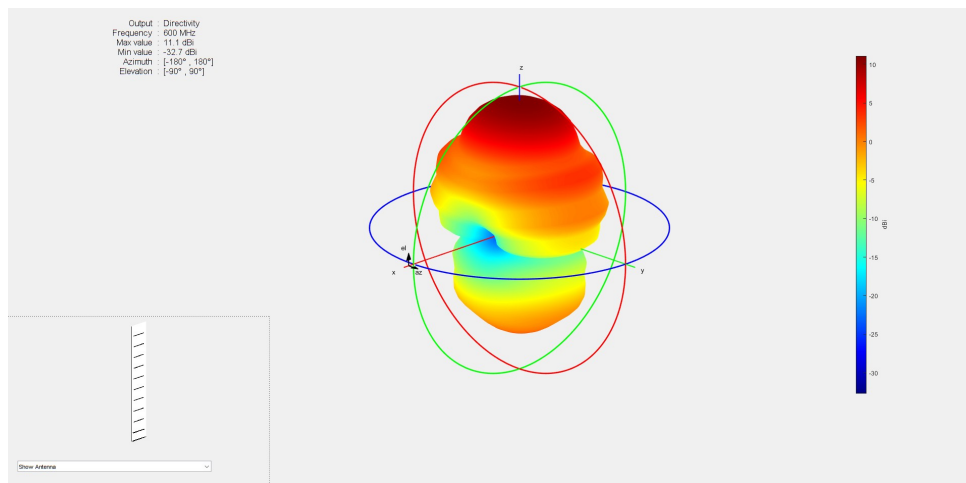


Figura 9: Diretividade 3D 600 MHz.



Figura 10: Diretividade da Antena

Na Fig. 11 podemos ver que a impedância na faixa de 540 MHz a 660 MHz apresenta:

- Resistência: Valores próximos de  $50 \Omega$  em torno de 600 MHz, o que indica um bom casamento de impedância.
- Reatância: Mostra uma variação maior em frequências extremas, mas dentro de limites aceitáveis para essa faixa.

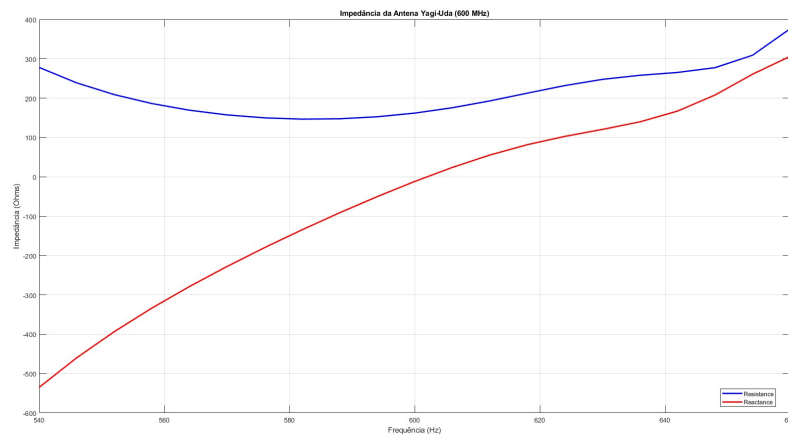


Figura 11: Impedância 600 MHz.

A Fig.7 mostra um valor mínimo em torno de  $-6$  dB na frequência de 600 MHz. Isso reflete uma eficiência razoável no acoplamento, com a antena operando bem na frequência de projeto.

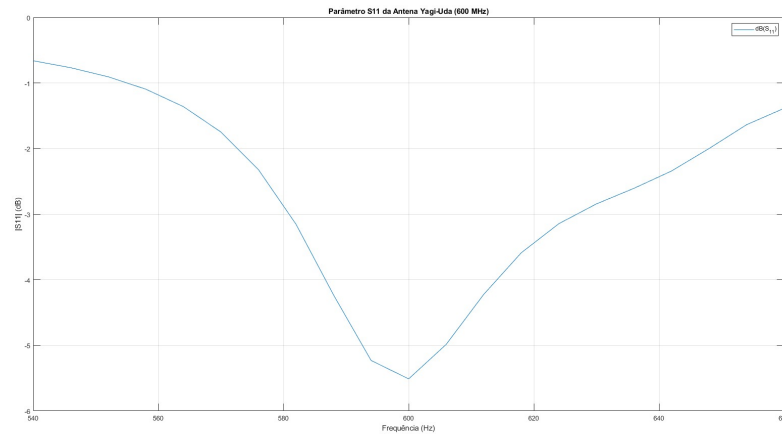


Figura 12: Parâmetro  $S_{11}$  600 MHz.

## 5 Conclusão

- **Diretividade:**

- Ambas as antenas apresentam alta diretividade, sendo a antena de 600 MHz ligeiramente mais eficiente em ganho direcional.
- A antena de 2.4 GHz tem lóbulos laterais menos pronunciados, refletindo um feixe mais concentrado.

- **Impedância:**

- As duas antenas mostram um bom casamento de impedância nas frequências centrais, com a de 600 MHz apresentando um desempenho ligeiramente melhor.

- **Parâmetro  $S_{11}$ :**

- Ambas apresentam valores razoáveis de  $S_{11}$ , sendo a antena de 600 MHz ligeiramente melhor nesse aspecto, com  $S_{11}$  mais negativo.

- **Geometria:**

- A antena de 600 MHz é muito maior em termos físicos devido ao comprimento de onda mais longo, o que deve ser considerado para aplicações práticas.

Podemos concluir que a antena de 2.4 GHz é melhor para aplicações que exigem um menor tamanho física e uma alta diretividade, a exemplo disso temos as redes Wi-Fi. Já

a antena de 600 MHz é mais adequada para conexões em UHF, como TV digital, onde o tamanho físico maior não é uma limitação crítica.

## 6 Códigos

```
1 %% Propriedades da Antena
2
3 % Criação da antena Yagi-Uda ajustada para 2.4 GHz
4 antennaObject = design(yagiUda, 2400 * 1e6); % Define a frequência de
    operação em 2.4 GHz
5 antennaObject.Exciter = dipoleFolded; % Define o dipolo dobrado como
    elemento ativo
6
7 % Configuração das dimensões do dipolo dobrado
8 antennaObject.Exciter.Length = 0.054437; % Comprimento do dipolo em
    metros
9 antennaObject.Exciter.Width = 0.0013865; % Largura do dipolo em metros
10 antennaObject.Exciter.Spacing = 0.00071201; % Espaçamento entre os
    condutores do dipolo dobrado
11
12 % Configuração do número de diretores
13 antennaObject.NumDirectors = 5; % Define o número de diretores como 5
14
15 % Visualizar a geometria da antena Yagi-Uda
16 figure;
17 show(antennaObject); % Mostra a estrutura física da antena
18 title('Geometria da Antena Yagi-Uda (2.4 GHz)');
19
20 %% Análise da Antena
21
22 % Definição da frequência para análise
23 plotFrequency = 2400 * 1e6; % Frequência central para os gráficos (2.4
    GHz)
24 freqRange = (2160:24:2640) * 1e6; % Faixa de frequência de 2.16 GHz a
    2.64 GHz
25
```

```

26 % Impedância de referência do sistema
27 refImpedance = 50; % Impedância típica de sistemas de telecomunicação
    (50 ohms)
28
29 % Cálculo e plotagem da impedância em função da frequência
30 figure;
31 impedance(antennaObject, freqRange);
32 title('Impedância da Antena Yagi-Uda (2.4 GHz)');
33 xlabel('Frequência (Hz)');
34 ylabel('Impedância (Ohms)');
35
36 % Cálculo e plotagem dos parâmetros S (exemplo: S11)
37 figure;
38 s = sparameters(antennaObject, freqRange, refImpedance); % Calcula os
    parâmetros S
39 rfplot(s); % Plota o gráfico de S11
40 title('Parâmetro S11 da Antena Yagi-Uda (2.4 GHz)');
41 xlabel('Frequência (Hz)');
42 ylabel('|S11| (dB)');
43
44 % Padrão de radiação em 3D
45 figure;
46 pattern(antennaObject, plotFrequency); % Exibe o padrão de radiação
    tridimensional
47 title('Padrão de Radiação 3D da Antena Yagi-Uda (2.4 GHz)');
48
49 % Padrão de radiação no plano azimutal (horizontal)
50 figure;
51 patternAzimuth(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Azimuth', 0:5:360); %
    Padrão de radiação no plano H
52 title('Padrão de Radiação no Plano Azimutal (Horizontal) - 2.4 GHz');
53 xlabel('Ângulo Azimutal (graus)');
54 ylabel('Ganho (dB)');
55
56 % Padrão de radiação no plano de elevação (vertical)
57 figure;
58 patternElevation(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Elevation', 0:5:360);

```



```

        % Padrão de radiação no plano E
59 title('Padrão de Radiação no Plano de Elevação (Vertical) - 2.4 GHz');
60 xlabel(' ngulo  de Elevação (graus)');
61 ylabel('Ganho (dB)');

```

Listing 1: Código para frequência de 2.4 GHz

```

1      %% Propriedades da Antena
2
3 % Criação da antena Yagi-Uda ajustada para 600 MHz
4 antennaObject = design(yagiUda, 600 * 1e6); % Define a frequência de
      operação em 600 MHz
5 antennaObject.Exciter = dipoleFolded; % Define o dipolo dobrado como
      elemento ativo
6
7 % Configuração das dimensões do dipolo dobrado
8 antennaObject.Exciter.Length = 0.21775; % Comprimento do dipolo em
      metros
9 antennaObject.Exciter.Width = 0.0055462; % Largura do dipolo em metros
10 antennaObject.Exciter.Spacing = 0.002848; % Espaçamento entre os
      condutores do dipolo dobrado
11
12 % Configuração do número de diretores
13 antennaObject.NumDirectors = 9; % Define o número de diretores como 9
14
15 % Visualizar a geometria da antena Yagi-Uda
16 figure;
17 show(antennaObject); % Mostra a estrutura física da antena
18 title('Geometria da Antena Yagi-Uda (600 MHz)');
19
20 %% Análise da Antena
21
22 % Definição da frequência para análise
23 plotFrequency = 600 * 1e6; % Frequência central para os gráficos (600
      MHz)
24 freqRange = (540:6:660) * 1e6; % Faixa de frequência de 540 MHz a 660
      MHz
25

```

```

26 % Impedância de referência do sistema
27 refImpedance = 50; % Impedância típica de sistemas de telecomunicação
    (50 ohms)
28
29 % Cálculo e plotagem da impedância em função da frequência
30 figure;
31 impedance(antennaObject, freqRange);
32 title('Impedância da Antena Yagi-Uda (600 MHz)');
33 xlabel('Frequência (Hz)');
34 ylabel('Impedância (Ohms)');
35
36 % Cálculo e plotagem dos parâmetros S (exemplo: S11)
37 figure;
38 s = sparameters(antennaObject, freqRange, refImpedance); % Calcula os
    parâmetros S
39 rfplot(s); % Plota o gráfico de S11
40 title('Parâmetro S11 da Antena Yagi-Uda (600 MHz)');
41 xlabel('Frequência (Hz)');
42 ylabel('|S11| (dB)');
43
44 % Padrão de radiação em 3D
45 figure;
46 pattern(antennaObject, plotFrequency); % Exibe o padrão de radiação
    tridimensional
47 title('Padrão de Radiação 3D da Antena Yagi-Uda (600 MHz)');
48
49 % Padrão de radiação no plano azimutal (horizontal)
50 figure;
51 patternAzimuth(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Azimuth', 0:5:360); %
    Padrão de radiação no plano H
52 title('Padrão de Radiação no Plano Azimutal (Horizontal) - 600 MHz');
53 xlabel('Ângulo Azimutal (graus)');
54 ylabel('Ganho (dB)');
55
56 % Padrão de radiação no plano de elevação (vertical)
57 figure;
58 patternElevation(antennaObject, plotFrequency, 0, 'Elevation', 0:5:360);

```

```
    % Padrão de radiação no plano E
59 title('Padrão de Radiação no Plano de Elevação (Vertical) - 600 MHz');
60 xlabel(' ngulo  de Elevação (graus)');
61 ylabel('Ganho (dB)');
```

Listing 2: Código para frequência de 600 MHz

## Referências

- [1] YAGI, Hidetsugu. Beam transmission of ultra short waves. **Proceedings of the Institute of Radio Engineers**, v. 16, n. 6, p. 715-740, 1928.
- [2] Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel). *Espectro de Radio-frequências: Q&A sobre Radiofrequência*. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documentoVersionado.asp?numeroPublicacao=&documentoPath=radiofrequencia/qaff.pdf&Pub=&URL=/Portal/verificaDocumentos/documento.asp>.
- [3] Create Yagi-Uda array antenna. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/antenna/ref/yagiuda.html>.