



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

---

## Projeto de Antenas

---

**Curso:** Engenharia de Telecomunicações  
**Disciplina:** ANT029006 - Antenas e Propagação  
**Professor:** Saul Silva Caetano

**Aluna**  
Luiza Kuze Gomes

3 de março de 2025

## **Sumário**

<b>1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Cálculos e Montagem da Antena</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Medição com VNA</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Diagrama de Radiação</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Variação da Potência em Função da Frequência</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>13</b>

# 1 Objetivos

- Realizar medições com um Analisador Vetorial de Redes (VNA) a fim de observar a variação da relação de onda estacionária (SWR) com a adição de elementos como refletor e diretores na antena Yagi-Uda.
- Gerar e comparar diagramas de radiação para diferentes configurações da antena, avaliando a diretividade, a formação do feixe principal e o impacto dos elementos adicionais na resposta da antena.
- Examinar a relação entre frequência e potência recebida, verificando possíveis variações na eficiência da antena ao longo do espectro analisado e como a inclusão de novos elementos influencia esse comportamento.

# 2 Introdução

Inicialmente, foi utilizada uma antena contendo apenas um dipolo, servindo como referência para comparação com configurações mais complexas. Posteriormente, foram adicionados elementos como o refletor e diretores para analisar a variação do SWR, a relação entre potência e frequência, e a potência em função do ângulo da antena. Além disso, investigou-se como a adição desses elementos influencia a diretividade, a formação do feixe principal e a eficiência da antena.

Dentre os estudos realizados, buscou-se compreender o impacto de cada elemento na radiação da antena, avaliando suas contribuições para o desempenho geral do sistema.

Este relatório apresenta os cálculos, a metodologia experimental, a análise dos resultados obtidos e as conclusões baseadas nas observações realizadas ao longo do estudo.

# 3 Cálculos e Montagem da Antena

**Cálculo do Comprimento de Onda** Dada a frequência de operação de 1 GHz:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.0 \times 10^8}{1.0 \times 10^9} = 0,30m \quad (1)$$

**Comprimento do Dipolo Meio-Onda** O comprimento do dipolo ressonante ( $L'$ ) é dado por:

$$L' = \frac{\lambda}{2} = \frac{0,30}{2} = 0,15m \quad (2)$$

**Fórmula de Kraus para o Comprimento da Antena** A fórmula de Kraus nos dá o comprimento que a antena deve ter e leva em conta o diâmetro da haste ( $a$ ):

$$L = 0,48\lambda - 2a \quad (3)$$

Foi medido o diâmetro da haste com um paquímetro:

$$a = 0,003m \quad (4)$$

Substituindo os valores:

$$L = 0,48(0,30) - 2(0,003) \quad (5)$$

$$L = 0,144 - 0,006 = 0,138m = 13,8cm \quad (6)$$



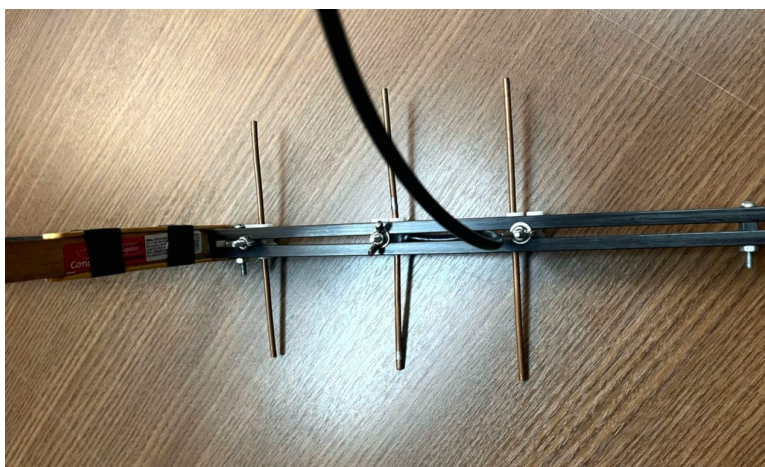
Tabela 1: Valores normais e ajustados dos elementos da antena Yagi

Elemento	Valor Normal ( $\lambda$ )	Valor Ajustado ( $\lambda$ )
Refletor	0.482	0.481
1º Diretor	0.428	0.425
2º Diretor	0.420	0.416
3º Diretor	0.420	0.416
4º Diretor	0.428	0.425

Fonte: Própria autora

Além disso, para a montagem das antenas, as distâncias entre os elementos foram definidas de forma a otimizar o desempenho. A distância entre o refletor e o dipolo foi estabelecida como  $0,2\lambda$ , resultando em 6 cm, enquanto a distância entre o dipolo e o diretor foi definida como  $0,25\lambda$ , resultando em 7,5 cm. Essas medidas foram essenciais na montagem para validar os cálculos realizados anteriormente. Além das distâncias, também foram definidos os comprimentos dos elementos da antena, sendo o refletor com 14,3 cm, o dipolo com 14 cm, o primeiro diretor com 12,8 cm, o segundo diretor com 12,6 cm e o terceiro diretor com 12,8 cm. Abaixo, a Figura 3 apresenta parte do processo de montagem da antena utilizando essas medidas.

Figura 3: Procedimento de montagem da antena



Fonte: Própria autora

## 4 Medição com VNA

Para esta etapa do procedimento de experimentação, utilizamos um Analisador Vetorial de Rede (VNA), similar ao mostrado na Figura 4. O VNA é usado para medições de impedância, SWR (Standing Wave Ratio), resistência e reatância. Ele permite a calibração utilizando três padrões: Open (aberto), Short (curto) e Load (carga), essenciais para garantir medições precisas. Além disso, ele também apresenta a Carta de Smith, mas não utilizamos essa funcionalidade neste experimento.

Figura 4: Analisador Vetorial de Rede



Fonte: NanoVNA V2 [1]

Na Tabela 2, são apresentados os dados de SWR (Standing Wave Ratio) e largura de banda para diferentes configurações de antena. Durante a medição, essa etapa apresentou algumas dificuldades, especialmente na determinação dos valores do SWR na frequência superior, que correspondem aos valores máximos encontrados. O objetivo era encontrar um valor semelhante na frequência inferior para obter a mesma variação em dB para ambos os lados. No entanto, esse valor nunca é exatamente 3, como foi instruído para ser somado a partir do SWR em 1 GHz.

A tabela a seguir apresenta os valores medidos, onde **Fi** representa a frequência inferior, **Fs** a frequência superior e **BW** a largura de banda em MHz.

Tabela 2: Medições de SWR e largura de banda para diferentes configurações de antena.

Tipo de Antena	SWR (1GHz)	SWR - Fi	Fi	SWR - Fs	Fs	BW (MHz)
Dipolo	1.232	3.554	676	3.556	1884	1208
Dipolo + Refletor	1.600	3.289	676	3.289	1646	970
Dipolo + Refletor + 1 Diretor	1.805	3.326	740	3.333	2496	1756
Dipolo + Refletor + 3 Diretores	2.025	3.565	640	3.521	2072	1432
Dipolo + Refletor + 4 Diretores	1.895	3.481	668	3.480	2504	1836

Fonte: Própria autora

## 5 Diagrama de Radiação

Essa etapa consiste em registrar os resultados obtidos a partir do teste de rotação das diferentes configurações da antena, modificando seu ângulo para medir a potência recebida. Com esses dados, foram gerados os diagramas de radiação para cada configuração, permitindo visualizar e compreender o comportamento da antena em diferentes situações.

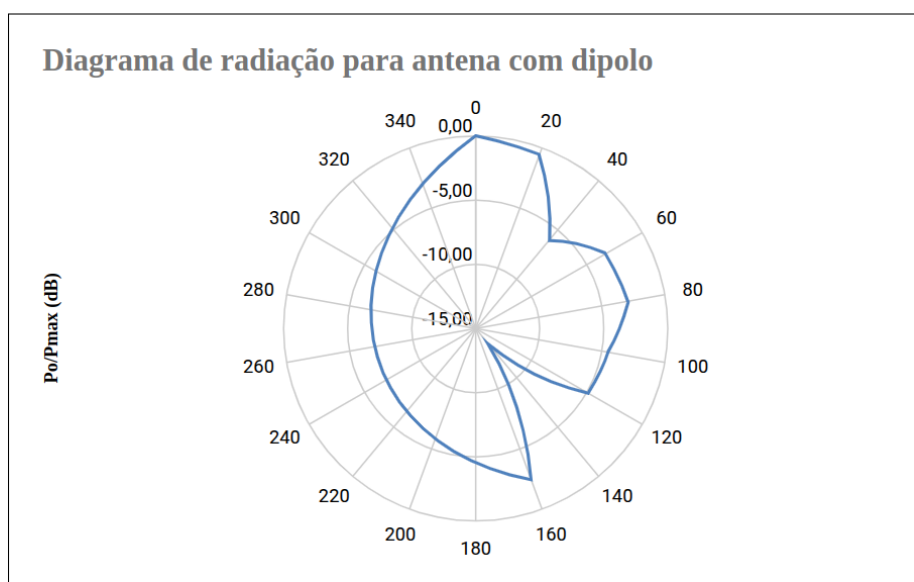
Na Tabela 3, são apresentados os resultados registrados, juntamente com o diagrama de radiação para a antena contendo apenas um dipolo, conforme ilustrado na Figura 5.

Tabela 3: Medições de potência em diferentes ângulos para antena com um dipolo

Ângulo (°)	Potência (dBm)	Potência (nW)	Po/Pmax (W)	Po/Pmax (dB)
0°	-49.0	12.589	1.000	0.00
45°	-49.6	10.965	0.871	-0.60
90°	-55.0	3.162	0.251	-6.00
135°	-52.3	5.888	0.468	-3.30
180°	-51.9	6.457	0.513	-2.90
225°	-53.5	4.467	0.355	-4.50
270°	-53.9	4.074	0.324	-4.90
315°	-62.5	0.562	0.045	-13.50
360°	-51.5	7.079	0.562	-2.50

Fonte: Própria autora

Figura 5: Diagrama de radiação para antena com dipolo



Fonte: Própria autora

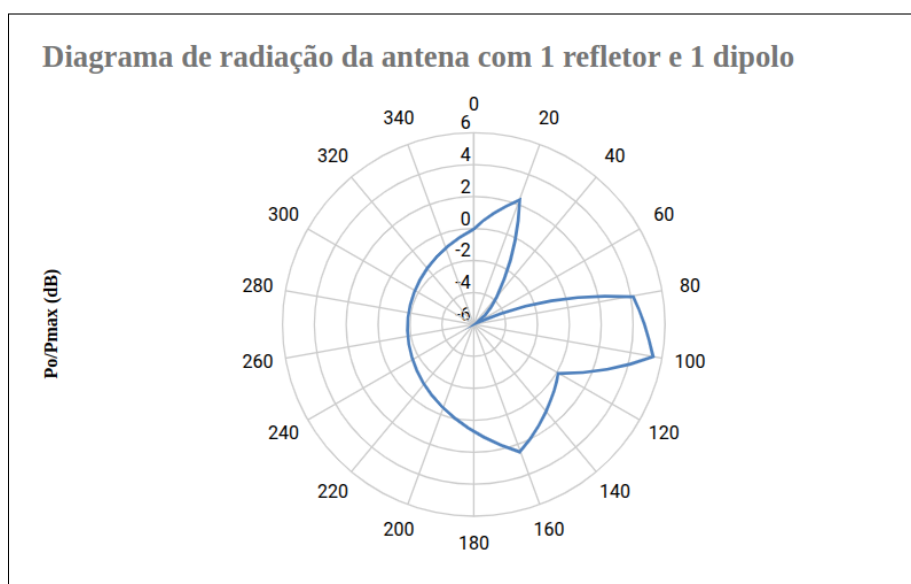
Na Tabela 4, são apresentados os resultados registrados, juntamente com o diagrama de radiação para a antena contendo um dipolo e um refletor, conforme ilustrado na Figura 6.

Tabela 4: Medições de potência em diferentes ângulos para a antena com 1 dipolo e 1 refletor

Ângulo (°)	Potência (dBm)	Potência (nW)	Po/Pmax (W)	Po/Pmax (dB)
0°	-52.6	5.495	1.000	0.0
45°	-50.3	9.333	1.698	2.3
90°	-56.4	2.291	0.417	-3.8
135°	-58.4	1.445	0.263	-5.8
180°	-48.4	14.454	2.630	4.2
225°	-47.2	19.055	3.467	5.4
270°	-52.5	5.623	1.023	0.1
315°	-51.5	7.079	1.288	1.1
360°	-50.1	9.772	1.778	2.5

Fonte: Própria autora

Figura 6: Diagrama de radiação para antena com um refletor e um dipolo



Fonte: Própria autora

Na Tabela 5, são apresentados os resultados registrados, juntamente com o diagrama de radiação para a antena completa (um diretor, um refletor e quatro diretores), conforme ilustrado na Figura 7.

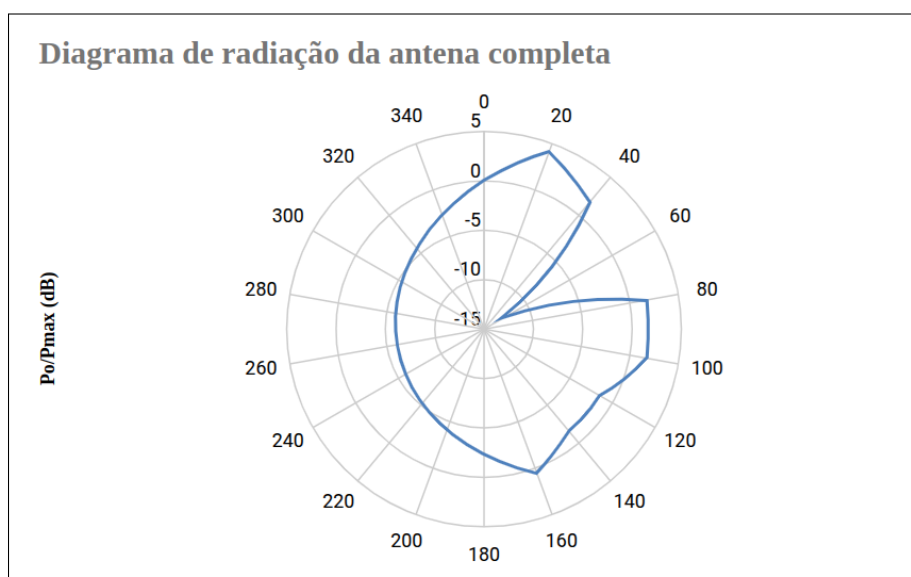


Tabela 5: Medições de potência em diferentes ângulos para a antena completa

Ângulo (°)	Potência (dBm)	Potência (nW)	Po/Pmax (W)	Po/Pmax (dB)
0°	-53.0	5.012	1.000	0.0
45°	-48.9	12.882	2.570	4.1
90°	-51.3	7.413	1.479	1.7
135°	-65.9	0.257	0.051	-12.9
180°	-51.2	7.586	1.514	1.8
225°	-51.3	7.413	1.479	1.7
270°	-54.4	3.631	0.724	-1.4
315°	-54.6	3.467	0.692	-1.6
360°	-52.5	5.623	1.122	0.5

Fonte: Própria autora

Figura 7: Diagrama de radiação para antena completa



Fonte: Própria autora

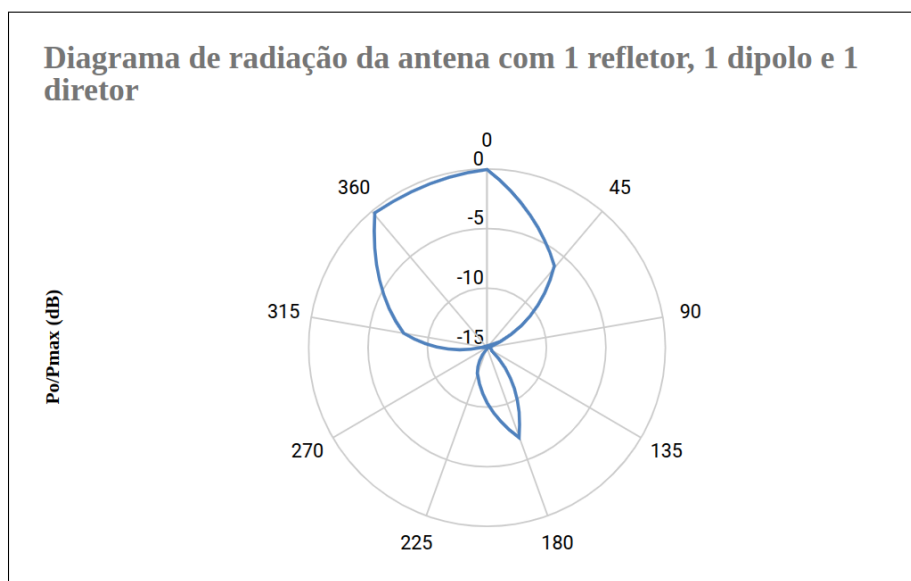
Na Tabela 6, são apresentados os resultados registrados, juntamente com o diagrama de radiação para a antena com um refletor, um dipolo e um diretor, conforme ilustrado na Figura 8.

Tabela 6: Medições de potência em diferentes ângulos para a antena com 1 dipolo, 1 refletor e 1 diretor

Ângulo (°)	Potência (dBm)	Potência (nW)	Po/Pmax (W)	Po/Pmax (dB)
0°	-43.1	48.978	1.000	0.0
45°	-49.2	12.023	0.245	-6.1
90°	-58.0	1.585	0.032	-14.9
135°	-57.6	1.738	0.035	-14.5
180°	-50.1	9.772	0.200	-7.0
225°	-55.8	2.630	0.054	-12.7
270°	-58.6	1.380	0.028	-15.5
315°	-51.0	7.943	0.162	-7.9
360°	-43.4	45.709	0.933	-0.3

Fonte: Própria autora

Figura 8: Diagrama de radiação para antena com 1 dipolo, 1 refletor e 1 diretor



Fonte: Própria autora

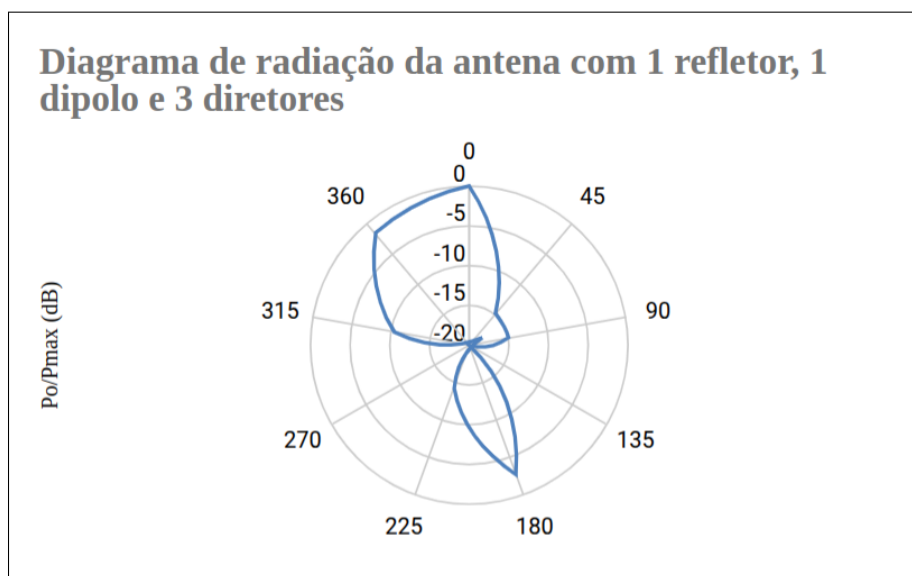
Na Tabela 7, são apresentados os resultados registrados, juntamente com o diagrama de radiação para a antena com um refletor, um dipolo e três diretores, conforme ilustrado na Figura 9.

Tabela 7: Medições de potência em diferentes ângulos para a antena com 1 dipolo, 1 refletor e 3 diretores

Ângulo (°)	Potência (dBm)	Potência (nW)	Po/Pmax (W)	Po/Pmax (dB)
0°	-44.0	39.811	1.000	0.0
45°	-58.8	1.318	0.033	-14.8
90°	-59.0	1.259	0.032	-15.0
135°	-64.0	0.398	0.010	-20.0
180°	-46.6	21.878	0.550	-2.6
225°	-58.2	1.514	0.038	-14.2
270°	-66.0	0.251	0.006	-22.0
315°	-54.5	3.548	0.089	-10.5
360°	-45.5	28.184	0.708	-1.5

Fonte: Própria autora

Figura 9: Diagrama de radiação para antena com 1 dipolo, 1 refletor e 3 diretores



Fonte: Própria autora

## 6 Variação da Potência em Função da Frequência

O procedimento seguiu com a variação da frequência, mantendo a antena no mesmo ângulo, para analisar a relação entre a frequência e a potência recebida. Os valores obtidos estão registrados nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12.

Tabela 8: Medições de potência em diferentes frequências com um dipolo

<b>Frequência (MHz)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
900	-47.20
925	-52.20
950	-49.00
975	-48.70
1000	-49.10
1025	-59.50
1050	-52.00
1075	-47.00
1100	-68.00

Fonte: Própria autora

Tabela 9: Medições de potência em diferentes frequências para a antena completa

<b>Frequência (MHz)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
900	-52.0
925	-42.5
950	-53.0
975	-42.4
1000	-56.3
1025	-47.2
1050	-46.0
1075	-45.0
1100	-60.6

Fonte: Própria autora

Tabela 10: Medições de potência em diferentes frequências para antena com 1 dipolo e 1 refletor

<b>Frequência (MHz)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
900	-47.3
925	-56.5
950	-54.1
975	-45.0
1000	-49.0
1025	-55.5
1050	-48.5
1075	-45.7
1100	-48.7

Fonte: Própria autora

Tabela 11: Medições de potência em diferentes frequências com 1 dipolo, 1 refletor e 1 diretor

<b>Frequência (MHz)</b>	<b>Potência (dBm)</b>
900	-49.5
925	-55.3
950	-48.2
975	-48.1
1000	-44.2
1025	-51.1
1050	-39.9
1075	-51.1
1100	-48.4

Fonte: Própria autora

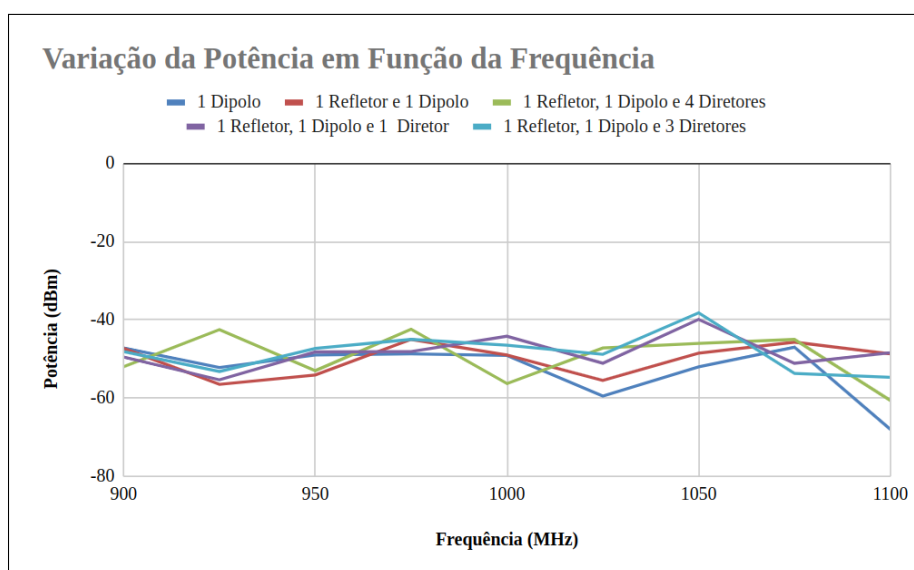
Tabela 12: Medições de potência em diferentes frequências com 1 dipolo, 1 refletor e 3 diretores

Frequência (MHz)	Potência (dBm)
900	-48.1
925	-53.2
950	-47.3
975	-45.0
1000	-46.5
1025	-48.8
1050	-38.2
1075	-53.7
1100	-54.7

Fonte: Própria autora

A fim de comparar as diferenças entre os diferentes elementos das antenas, foi elaborado o gráfico da Figura 10, onde todas as implementações da antenna foram analisadas em um único gráfico.

Figura 10: Comparação da potência em função da frequência das antenas



Fonte: Própria autora

## 7 Conclusão

Na teoria, esperava-se que o SWR piorasse à medida que novos elementos fossem adicionados à antena, o que foi confirmado, uma vez que o menor SWR foi obtido com a antena contendo apenas o dipolo ( $SWR = 1.232$ ). Conforme novos elementos foram adicionados, os valores de SWR se afastaram de 1, como no caso da antena com dipolo, refletor e três diretores, que apresentou um SWR de 2.025. No entanto, esse comportamento não se manteve para a antena com quatro diretores, que não validou completamente essa hipótese. De maneira geral, observou-se um aumento no SWR com a adição de novos elementos.

Os diagramas de radiação não apresentaram um feixe principal estreito e bem definido, com lobos

laterais controlados. Pelo contrário, ao adicionar diretores, o feixe tornou-se levemente mais definido, mas ainda bastante disperso. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo ambiente.

É interessante observar que as medições das antenas com um dipolo, um refletor e um diretor, e da antena com um dipolo, um refletor e três diretores, foram realizadas em um dia diferente das demais. Isso levanta a hipótese de que as condições climáticas e a disposição de objetos na quadra, no momento da medição, podem ter sido diferentes, influenciando os resultados obtidos.

Em relação à potência e à frequência obtidas, os valores foram muito próximos entre si. Um ponto interessante é que, no gráfico correspondente, em 900 MHz a potência se manteve quase a mesma para todas as antenas, enquanto em 1100 MHz as diferenças entre as configurações se tornaram mais evidentes.

## Referências

- [1] NanoRFE. *NanoVNA V2*. Acesso em: 23 nov. 2024. 2024. URL: <<https://nanorfe.com/nanovna-v2.html>>.
- [2] National Bureau of Standards (NBS). *NBS Technical Note 688*. Acesso em: 23 nov. 2024. 1976. URL: <<https://tf.nist.gov/general/pdf/451.pdf>>.