

Relatório de Laboratório – EE522

Vitor Bergamaschi Dos Santos - 248212

Vinicius De Lima Quadrado - 225357

Leonardo Souza Boaventura - 250417

EXPERIMENTO VI: Microondas

Data: 13/06/2025

1 Objetivos

Nas seções abaixo seguem os objetivos de cada seção do experimento.

1.1 Seção I - Demonstração de Propriedades (de Ondas Eletromagnéticas)

Nesta primeira seção do experimento, um transmissor de microondas será o foco do estudo, onde serão emitidas ondas polarizadas linearmente, a uma frequência de 10,525 GHz. Os estudos envolvem a leitura destas ondas de tensão por meio de um receptor de microondas, que tem posicionamento controlado por um goniômetro, dessa forma, busca-se entender o comportamento de eletromagnéticas no espaço e suas interações com diferentes meios de propagação. Dentro desta seção será feito experimentos de reflexão, refração, condução em fibra óptica e polarização de microondas.

- Refração: verificaremos a validade da lei da reflexão, que postula a igualdade entre ângulos de incidência e reflexão, utilizando microondas.
- Refração: será determinado experimentalmente o índice de refração de um material dielétrico através da lei de Snell.
- Fibra óptica: Verificaremos o conceito de ângulo crítico aplicado a propagação de microondas em meios confinados.
- Polarização: Será analisado os efeitos da polarização em microondas, aplicando filtros e verificando como estes afetam a transmissão e recepção do sinal.

1.2 Seção II - Cálculo da frequência da fonte

Nesta seção o objetivo é determinar a frequência da fonte emissora de microondas, sendo esta uma seção importante para validar a especificação do equipamento (10,525 GHz) e compreender a relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas. Para tal usaremos dois métodos:

- Analisar o padrão de interferência formado por máximos consecutivos de intensidade detectados pelo receptor. A distância entre máximos será utilizada para calcular o comprimento de onda.
- Medir a cavidade metálica de ressonância e analisar os modos dominantes de propagação, possibilitando o cálculo da frequência da onda.

1.3 Seção III - Caracterização da antena

Nesta última seção iremos realizar a caracterização do padrão de radiação emitidos nos planos de campo elétrico (plano E) e campo magnético (plano H). Possibilitando visualizar a direcionalidade da antena, um fator muito importante no projeto de sistemas de comunicação por ondas eletromagnéticas.

2 Procedimento Experimental

Nas seções abaixo seguem os procedimentos experimentais de cada seção do experimento.

2.1 Seção I - Demonstração de Propriedades (de Ondas Eletromagnéticas)

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução dos experimentos de reflexão, refração, condução em fibra óptica e polarização de microondas.

2.1.1 Reflexão

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de reflexão.

2.1.1.1 Montagem

O aparato experimental para o estudo da reflexão de microondas foi montado conforme o diagrama da Figura 2, na figura 1 pode-se verificar a real montagem, com o transmissor e receptor de microondas dispostos no goniômetro:

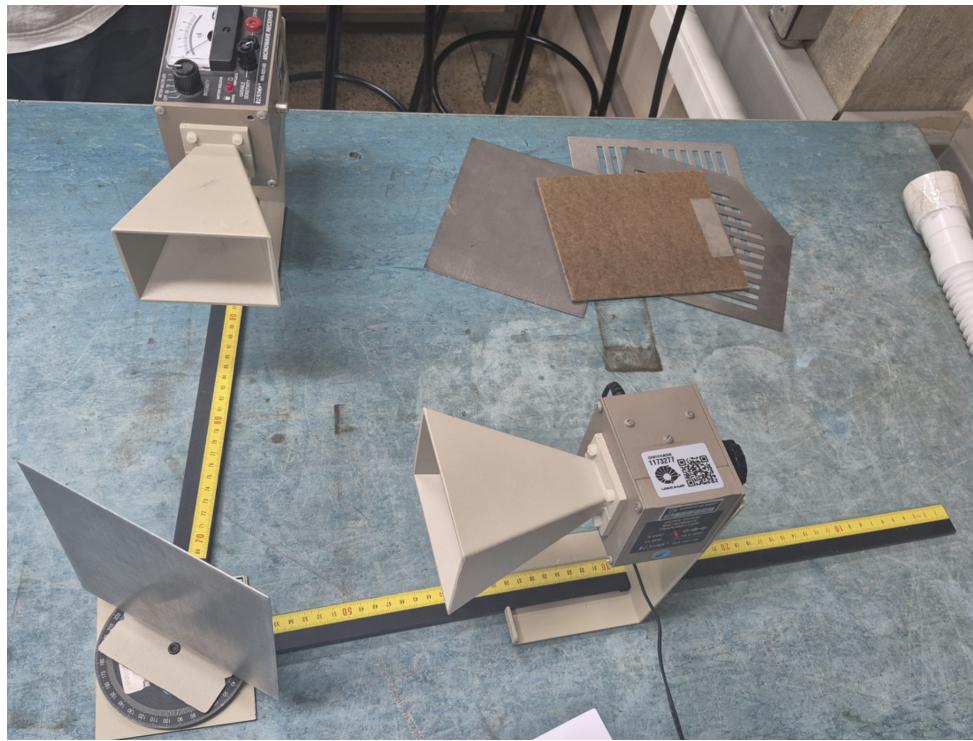


Figura 1: Montagem do experimento de reflexão de microondas.

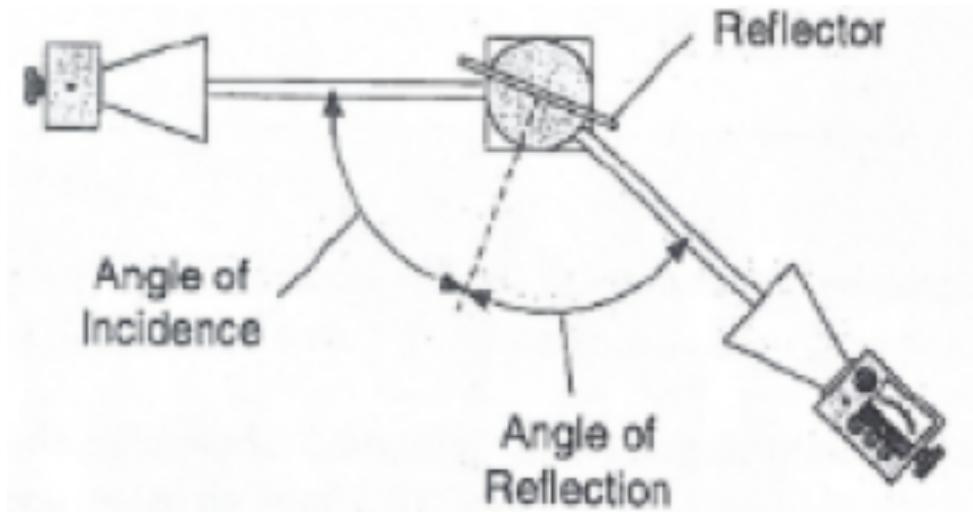


Figura 2: Ângulo de incidência e reflexão em microondas.

2.1.1.2 Equipamentos utilizados

Foram utilizados um goniômetro, um transmissor de microondas (com frequência de emissão de 10,525 GHz), um receptor de microondas, um suporte para anteparo e um anteparo metálico para a reflexão das ondas.

2.1.1.3 Execução

A primeira propriedade de ondas eletromagnéticas aferida neste estudo foi a reflexão. O intuito é aferir o ângulo de reflexão do feixe de microondas em relação a um determinado

ângulo de incidência imposto. O goniômetro é o elemento crucial para esta medida, visto que permite manipular o ângulo de posicionamento dos dispositivos com precisão. Na figura 2 é possível ver o resultado esperado em relação ao ângulo de incidência e reflexão, onde o ângulo de incidência θ_i é igual ao ângulo de reflexão θ_r .

Na tabela 1 pode-se conferir os resultados mediante 4 medições, ou seja, para cada ângulo de incidência dado, o ângulo de reflexão é determinado a partir do posicionamento angular do receptor que confere a leitura do sinal de valor máximo:

Ângulo de incidência (θ_i)	Ângulo de reflexão (θ_r)
40°	40°
50°	50°
60°	58°
70°	67°

Tabela 1: Resultados da reflexão de microondas.

2.1.2 Refração

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de refração.

2.1.2.1 Montagem

Para a análise da refração de microondas, ao invés de um anteparo metálico agora utilizamos um prisma de isopor preenchido com grânulos de estireno, de forma que se espera o desvio do feixe de ondas em um determinado ângulo de refração. A figura 3 ilustra a montagem do experimento, onde o transmissor e receptor estão posicionados no goniômetro, com o prisma de isopor entre eles.

Observação: na figura 3 o prisma não está cheio de grânulos de estireno, pois a fotografia foi tirada antes de completar a montagem, mas o experimento foi realizado com o prisma preenchido.

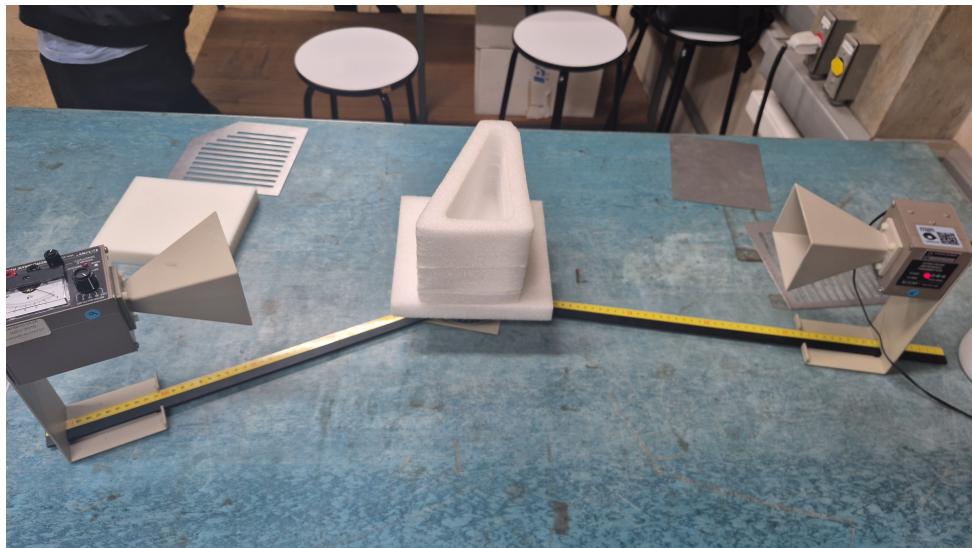


Figura 3: Ângulo de incidência e refração em microondas.

2.1.2.2 Equipamentos utilizados

Para esta montagem foram utilizados, além do conjunto transmissor, goniômetro e receptor, um prisma de isopor preenchido por granulos de estireno e um suporte para o prisma, como representado na figura 4.

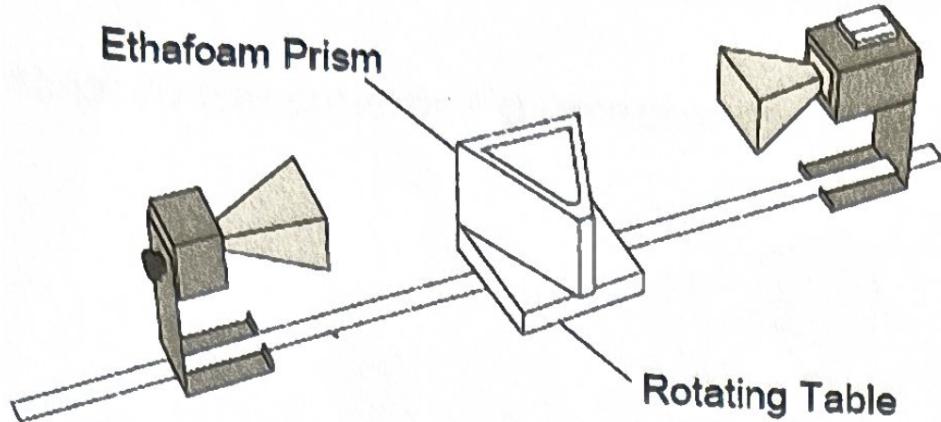


Figura 4: Esquema da montagem do experimento de refração de microondas.

2.1.2.3 Execução

Assim como no estudo da reflexão, aqui procura-se o ângulo que confere a máxima leitura de sinal pelo receptor. Rapidamente, utilizando o goniômetro, é possível aferir o ângulo de refração $\theta_r = 11^\circ$. A figura 5 abaixo ilustra o ângulo encontrado:

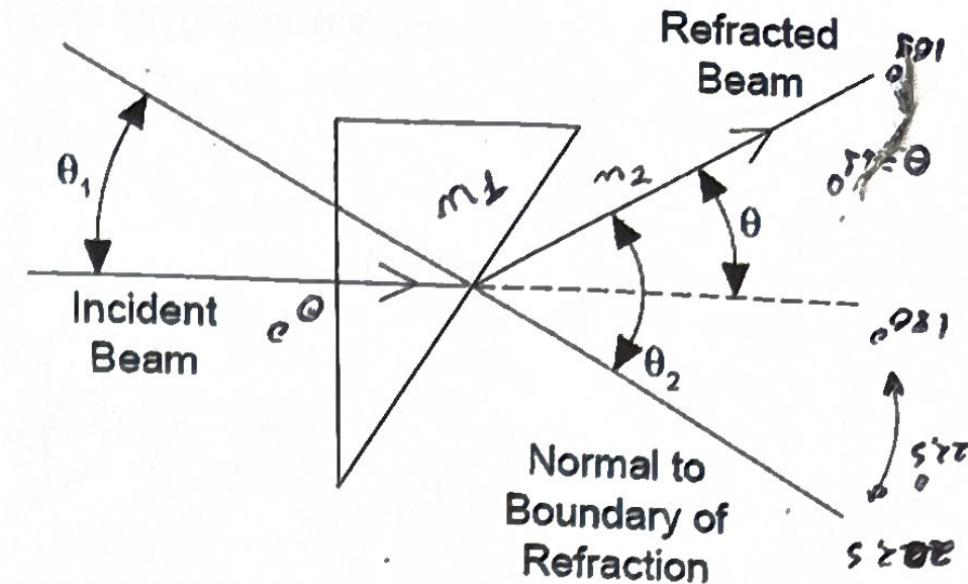


Figura 5: Ângulo de incidência e refração em microondas.

2.1.3 Fibra óptica

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de fibra óptica. Aqui o objetivo é verificar a condução das ondas eletromagnéticas por meio de um tubo preenchido com grânulos de estireno.

2.1.3.1 Montagem

A montagem permanece a mesma dos estudos anteriores, com única diferença que, no lugar do anteparo, há um tubo de plástico dobrável, preenchido por grânulos de estireno, o qual conecta o transmissor ao receptor que desta vez estão desalinhados

2.1.3.2 Equipamentos utilizados

Para esta montagem foi utilizado o conjunto transmissor-goniômetro-receptor e um tubo plástico flexível preenchido com grânulos de estireno que cumpre o papel de fibra óptica, isto é, um meio condutor de ondas eletromagnéticas.

2.1.3.3 Execução

Para aferir a condução das microondas, o transmissor e receptor foram posicionados a 90º um em relação ao outro, de modo que não haveria interferência de ondas transmitidas pelo ar. Posicionando o tubo conectando os dois dispositivos verifica-se sinal lido no receptor, indicando que o tubo está funcionando como um meio condutor das ondas.

A partir disso, é interessante saber qual o ângulo máximo de flexão com o qual o tubo permanece conduzindo o feixe de microondas sem perda significativa de potência do sinal. Para tal, o tubo foi flexionado em ângulos crescentes, até que o sinal lido pelo receptor começou a cair significativamente.

2.1.4 Polarização

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de polarização. Será verificado que ondas eletromagnéticas são transversais, com vetores do campo elétrico (E) e campo magnético (B) oscilando perpendicularmente à direção de propagação.

2.1.4.1 Montagem

Desta vez utiliza-se um anteparo vazado em formas retangulares paralelas entre si no eixo do goniômetro, este é o polarizador. Neste estudo serão utilizados 2 polarizadores alinhados no mesmo eixo, a figura 6 ilustra o esquema da montagem do experimento, onde o transmissor e receptor estão posicionados no goniômetro, com um polarizador entre eles. A figura 7 ilustra a onda atravessando o polarizador, mostrando o resultado esperado de uma onda polarizada linearmente.

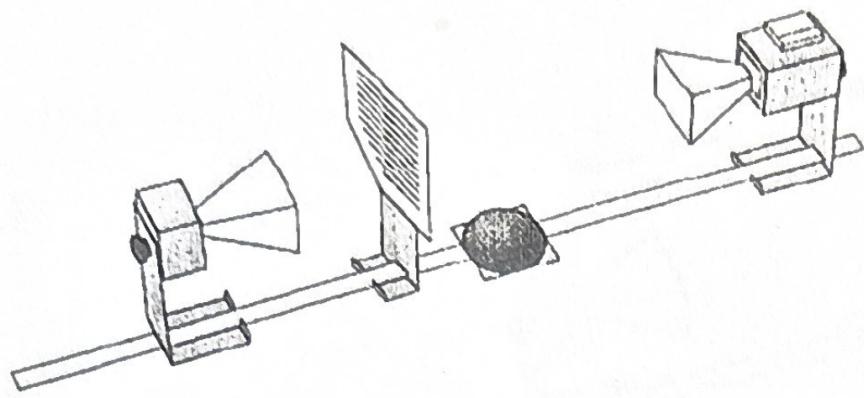


Figura 6: Esquema da montagem do experimento de polarização.

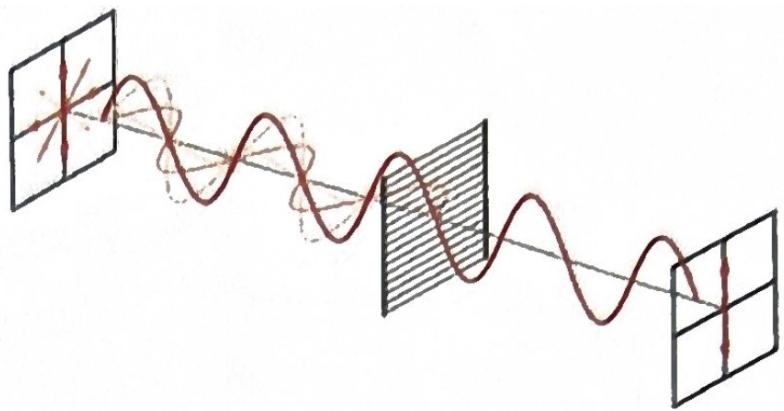


Figura 7: Onda atravessando o polarizador.

2.1.4.2 Equipamentos utilizados

Além do conjunto transmissor-goniômetro-receptor, foram utilizados os 2 polarizadores metálicos, a figura 8 ilustra os polarizadores utilizados, onde é possível ver as aberturas retangulares paralelas entre si.

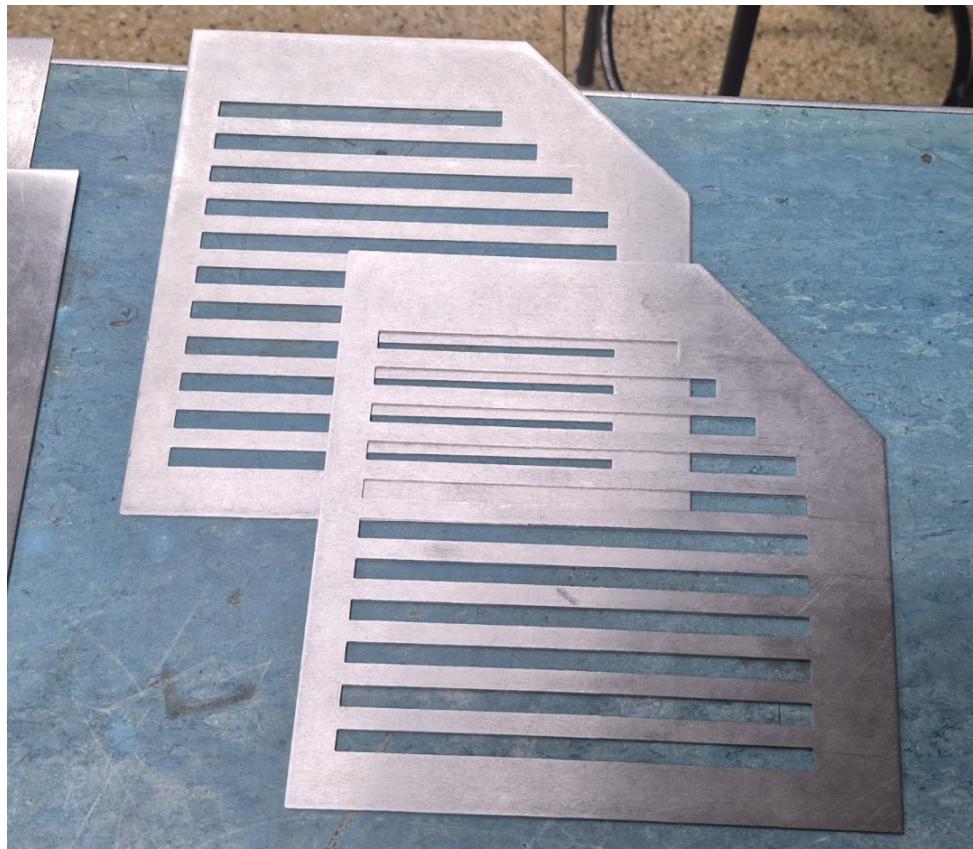


Figura 8: Filtros polarizadores.

2.1.4.3 Execução

Inicialmente alinhamos o transmissor e receptor com zero graus de rotação entre eles, no mesmo eixo de polarização. A partir disso posicionamos o primeiro polarizador entre eles com suas fendas em zero graus e depois 90 graus, observando a variação do sinal lido pelo receptor. Em seguida o transmissor e o receptor foram realinhados com 90 graus de rotação entre eles e o segundo polarizador foi posicionado entre eles com suas fendas orientadas a 45 graus, registrando novamente a variação do sinal lido pelo receptor.

2.2 Seção II - Cálculo da frequência da fonte

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução dos experimentos dos método 1 - medição da distância de máximos de intensidade e método 2 - medição da cavidade metálica e modos de propagação, ambos métodos para calcular a frequência da fonte.

2.2.1 Método 1 - Medição da distância de máximos de intensidade

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de medição da distância de pontos máximos de intensidade de radiação. A figura 9 ilustra o esquema da montagem do experimento.

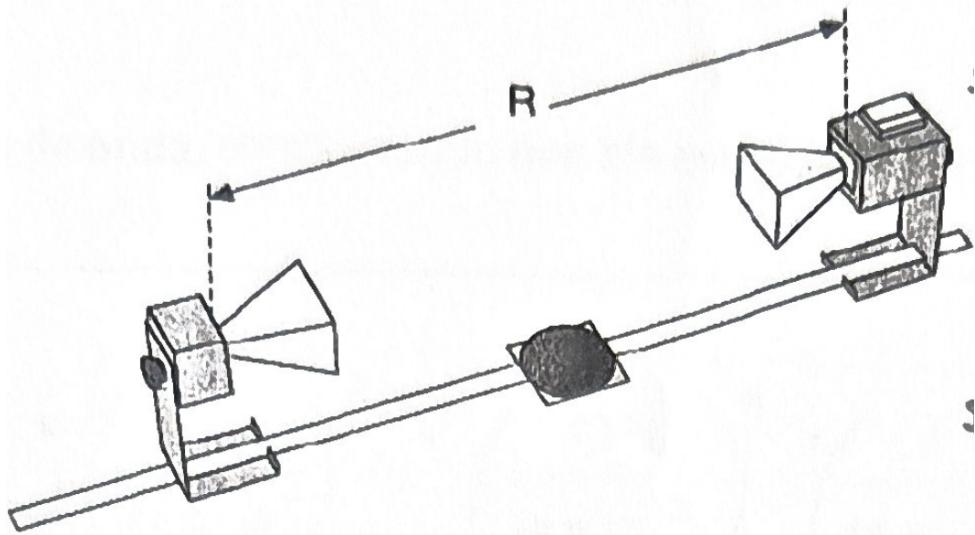


Figura 9: Esquema da montagem do experimento de medição da distância de máximos de intensidade.

2.2.1.1 Montagem

O transmissor e receptor montados sobre o goniômetro, com alinhamento de 180 graus entre eles. A figura 10 ilustra a montagem do experimento, onde o transmissor e receptor estão posicionados no goniômetro, com o receptor afastado do transmissor, de forma que o receptor possa ser afastado gradativamente até encontrar os máximos de intensidade de radiação.

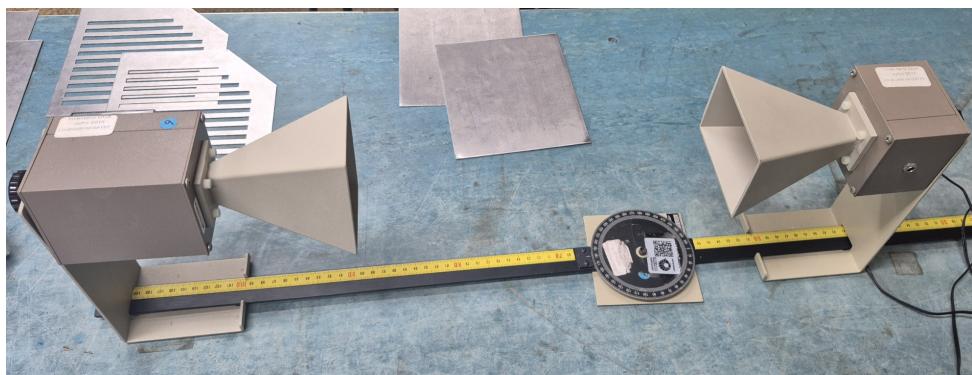


Figura 10: Montagem do experimento de medição da distância de máximos de intensidade.

2.2.1.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados foram o transmissor, receptor e goniômetro

2.2.1.3 Execução

Mantendo sempre o goniômetro medindo 180 graus entre transmissor e receptor, mantivemos o transmissor parado e afastamos o receptor gradativamente até encontrar um ponto onde o sinal alcançava o fundo de escala do receptor.

Tomamos nota da posição do primeiro máximo de intensidade de radiação encontrada, em seguida afastamos o receptor até encontrar o próximo máximo. Repetimos isso encontrando os máximos subsequentes até o fim da escala de distância do goniômetro. A figura 11 ilustra a zona de ressonância, onde os máximos de intensidade são encontrados ao variar a distância do receptor em relação ao transmissor.

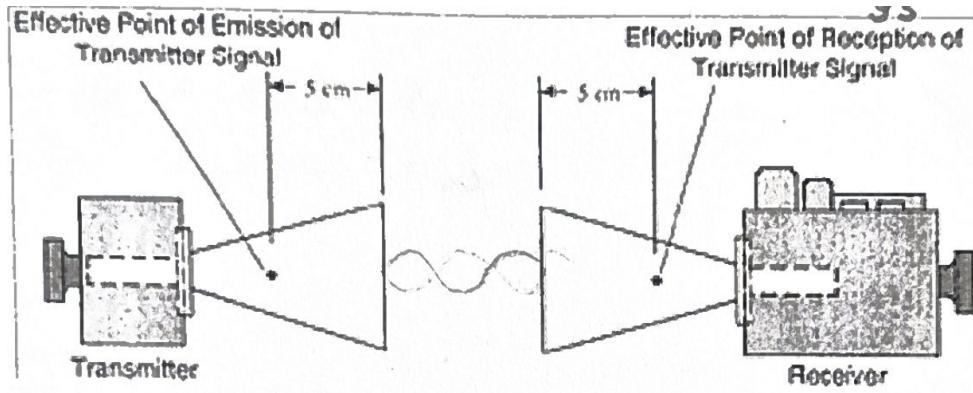


Figura 11: Zona de ressonância.

2.2.2 Método 2 - medição da cavidade metálica e modos de propagação

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de medição da cavidade metálica e modos de propagação.

2.2.2.1 Montagem

O equipamento montado consiste em uma parte interna do emissor desmontada. Para tal foi retirado 4 parafusos da lateral do emissor para termos acesso a cavidade ressonante metálica. A figura 12 ilustra a montagem do experimento, onde o transmissor está desmontado e o podemos ver a cavidade metálica resonante.

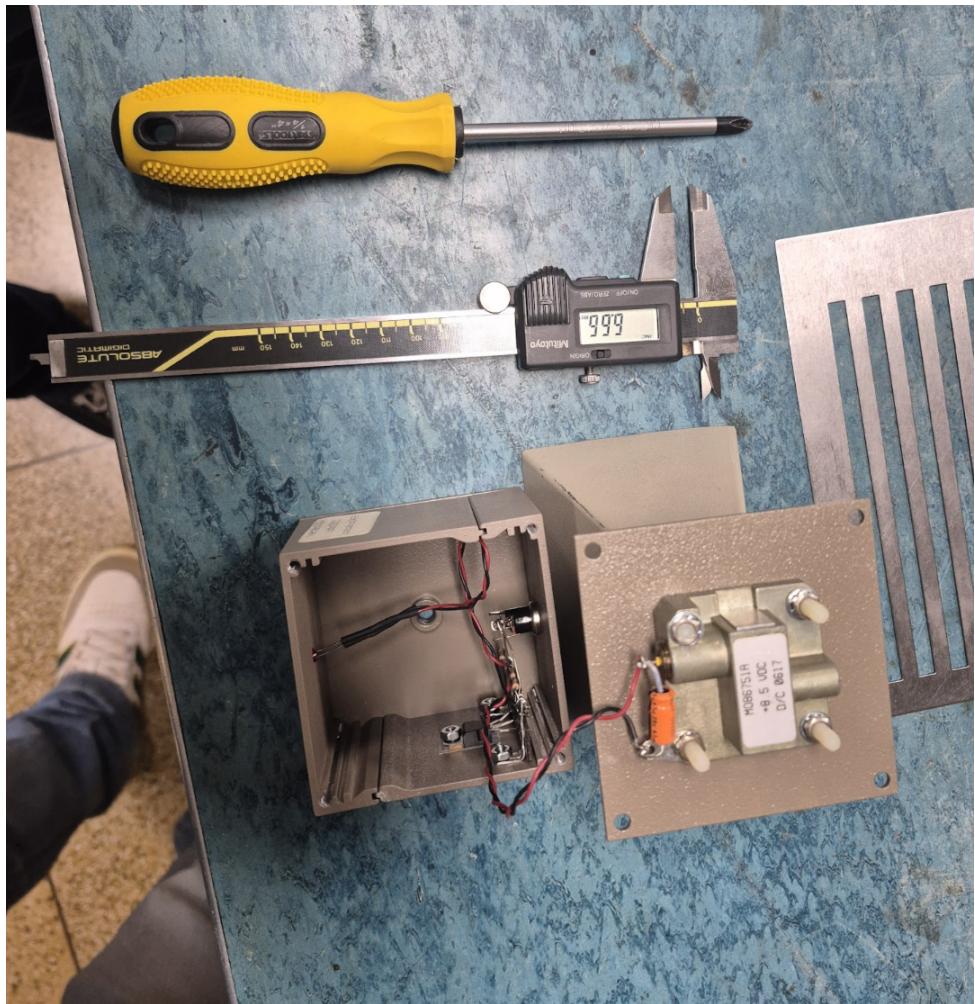


Figura 12: Montagem do experimento de medição da cavidade metálica e modos de propagação.

2.2.2.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados foram o emissor microondas, chave phillips e paquímetro.

2.2.2.3 Execução

Com o receptor em mãos, foi retirado 4 parafusos laterais do mesmo com uma chave philips, permitindo acesso a cavidade ressonante metálica. Esta cavidade teve as dimensões de largura, comprimento e profundidade medidas com um paquímetro. A figura 13 ilustra a cavidade metálica ressonante, onde as cotas P, C e L são, respectivamente, profundidade, comprimento e largura da cavidade.



Figura 13: Cavidade metálica ressonante. As cotas P, C e L são, respectivamente, profundidade, comprimento e largura da cavidade.

2.2.3 Seção III - Caracterização da antena

Nesta seção será apresentada a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de caracterização da antena.

2.2.3.1 Montagem

Nesta seção serão usadas duas montagens semelhantes, ambas com o transmissor e receptor montados sobre o goniômetro com ângulo ajustável e distância fixa. Na primeira montagem onde faremos a varredura sob o plano E, antena e receptor ficarão alinhados com zero graus de rotação entre si, já na segunda montagem onde haverá varredura sobre o plano H os dois ficarão alinhados com 90 graus de rotação entre si.

2.2.3.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados serão receptor, emissor e goniômetro.

2.2.3.3 Execução

Mantendo receptor e emissor fixos na escala de distância entre eles e movendo apenas de modo angular, iniciamos uma varredura no plano E, com receptor e emissor alinhados com zero graus de rotação entre eles. O ponto de partida se dá na escala de zero graus do goniômetro, ajustamos a escala do receptor para receber a máxima intensidade neste ponto (fundo de escala) e iniciamos a varredura do plano E movimentando 90 graus para

a direita, retomando ao ponto de zero graus, e por fim movimentando 90 graus para a esquerda. Ambas as varreduras foram feitas com incrementos de 5 graus.

Para realizar a varredura no plano H o receptor foi rotacionado 90 graus em relação ao emissor e o processo descrito acima foi realizado novamente.

3 Resultados

Nos capítulos abaixo seguem as discussões dos resultados de cada seção do experimento.

3.1 Seção I - Demonstração de Propriedades (de Ondas Eletromagnéticas)

3.1.1 Reflexão

3.1.1.1 Apresentação de dados

3.1.1.2 Análise dos resultados

3.1.2 Refração

3.1.2.1 Apresentação de dados

3.1.2.2 Análise dos resultados

3.1.3 Fibra óptica

3.1.3.1 Apresentação de dados

3.1.3.2 Análise dos resultados

3.1.4 Polarização

3.1.4.1 Apresentação de dados

3.1.4.2 Análise dos resultados

3.2 Seção II - Cálculo de Frequência de Fonte

3.2.1 Método 1 - Medição da distância de máximos de intensidade

3.2.1.1 Apresentação de dados

3.2.1.2 Análise dos resultados

3.2.2 Método 2 - Medição da cavidade metálica e modos de propagação

3.2.2.1 Apresentação de dados

3.2.2.2 Análise dos resultados

3.3 Seção III - Caracterização da antena

3.3.1 Apresentação de dados

3.3.2 Análise dos resultados

4 Conclusão

Referências

- [1] KRAUS, J.D. Eletromagnetics. 4th ed. McGraw-Hill, 1991.
- [2] REITZ, J.R., MILFORD, F.J. & CHRISTY, R.W. Foundations of Electromagnetic Theory. 3rd Addison-Wesley, 1980.
- [3] Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sand, M. The Feynman Lectures on Physics, Volume II – mainly electromagnetism and matter. Disponível em: https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_toc.html. Acesso em: 13 jun. 2025.