

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
RIO GRANDE DO NORTE CAMPUS NATAL – ZONA NORTE
CURSO TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO INTEGRADO EM ELETRÔNICA

JOANDERSON FERNANDES SIMÕES

MATHEUS VICTOR DE PAIVA GERMANO

PAULA RÉGIA SILVA DO NASCIMENTO

ANÁLISE E SÍNTESE DE ANTENAS PATCH DE MICROFITA

NATAL/RN

2017

JOANDERSON FERNANDES SIMÕES; MATHEUS VICTOR DE PAIVA
GERMANO; PAULA RÉGIA SILVA DO NASCIMENTO

ANÁLISE E SÍNTESE DE ANTENAS PATCH DE MICROFITA

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal - Zona Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Orientador: Prof Dr Érico Cadineli Braz.

NATAL/RN

2017

JOANDERSON FERNANDES SIMÕES; MATHEUS VICTOR DE PAIVA
GERMANO; PAULA RÉGIA SILVA DO NASCIMENTO

ANÁLISE E SÍNTESE DE ANTENAS PATCH DE MICROFITA

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal - Zona Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em __/__/__,
pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Cadinele Braz - Presidente
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Profª Msc Liviane Catarine Almeida Melo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof Msc Pedro Ivo de Araujo do Nascimento
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

NATAL/RN

2017

Não seja escravo do seu passado. Mergulhe em mares grandiosos, vá bem fundo e nade até bem longe, e voltará com respeito por si mesmo, com um novo vigor, com uma experiência a mais que explicará e superará a anterior.“

Ralph Waldo Emerson

RESUMO

No mundo todo, a tecnologia no ramo das telecomunicações vem progredindo com constantes avanços. Como consequência, os componentes e dispositivos que os compõem têm sido cada vez mais estudados e otimizados. Não é diferente com as antenas, especialmente as do tipo microfita, pois elas têm um papel importante na comunicação que utilizamos hoje. As antenas de microfita têm ganhado destaque quanto as demais, pois apresentam diversas vantagens como baixo custo e volume reduzido, facilidade de integração com outros circuitos e fácil construção. Assim, esse trabalho busca apresentar a análise, projeto e construção de antenas de microfita para a frequência de 2,4GHz. Além disso, verificou-se uma boa convergência entre os resultados simulados e medidos, para as antenas com dielétrico de fibra de vidro.

Palavras-Chaves: Telecomunicações. Antenas. Microfita.

ABSTRACT

Throughout the world, telecommunications technology has been making steady progress. As a consequence, the components and devices that make up all time and studied and optimized. It is not different with how antennas, especially as type microstrip, because they have an important paper in the communication that we use today. As microstrip antennas have gained prominence as well as, in addition, various markets and low volumes, ease of integration with other circuits and easy construction. Thus, this work looks for an analysis, design and construction of antennas of microstrip for frequency of 2.4 GHz. In addition, a good convergence among simulated and measured results was verified.

Key-Words: Telecommunications. Antennas. Microstrip.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama de Radiação.....	21
Figura 2: Diagrama de antenas isotrópica, omnidirecional e direcional.....	21
Figura 3: Antena Dipolo.....	25
Figura 4: Configuração da Antena Yagi- Uda.....	26
Figura 5: Antena parabólica.....	27
Figura 6: Antena patch retangular alimentada por linha de microfita.....	28
Figura 7: Configurações mais comuns das antenas de microfita.....	29
Figura 8: Antena patch microfita com inset feed.....	33
Figura 9: Simulação da antena, alimentada por linha de transmissão, mudando o L.....	37
Figura 10: Simulação da antena alterando a altura do substrato.....	38
Figura 11: Simulação da antena alterando o ϵ_r	48
Figura 12: Simulação da antena de microfita por linha de transmissão.....	39
Figura 13: Diagrama de radiação 3D, da antena de microfita por linha de transmissão.....	40
Figura 14: Diagrama de radiação 2D, da antena de microfita por linha de transmissão.....	42
Figura 15: Diagrama do ganho da antena de microfita por linha de alimentação.....	42
Figura 16: Antena microfita com alimentação por linha de transmissão.....	43
Figura 17: Medição da antena alimentada por linha de transmissão.....	43
Figura 18: Simulação da antena de microfita por cabo coaxial.....	44

Figura 19: Diagrama de Radiação 3D, da antena de microfita por cabo coaxial.....	45
Figura 20: Diagrama de Radiação 2D, da antena de microfita por cabo coaxial.....	45
Figura 21: Diagrama do ganho da antena de microfita por cabo coaxial.....	46
Figura 22: (a)Antena microfita com alimentação por cabo coaxial, frente. (b) Antena microfita com alimentação por cabo coaxial, trás.....	46
Figura 23: Medição da antena alimentada por cabo coaxial.....	47
Figura 24: Simulação da antena de microfita por linha de transmissão, usando fibra de vidro como substrato.....	48
Figura 25: Diagrama de radiação 3D da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando fibra de vidro como substrato.....	49
Figura 26: Diagrama de radiação 2D da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	49
Figura 27: Diagrama do ganho da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	50
Figura 28: Carta de Smith (impedância) da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	50
Figura 29: Antena microfita com alimentação por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	51
Figura 30: Medição da antena alimentada por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	51

Figura 31: Medição do VSWR da antena alimentada por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	52
Figura 32: Simulação da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.....	53
Figura 33: Diagrama de Radiação 3D, da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.....	54
Figura 34: Diagrama de Radiação 2D, da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.....	54
Figura 35: Diagrama do ganho da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.....	55
Figura 36: Carta de Smith (impedância) da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	55
Figura 37: (a) Antena microfita com alimentação por cabo coaxial, frente. (b) Antena microfita com alimentação por cabo coaxial, trás. Utilizando substrato de fibra de vidro.....	56
Figura 38: Medição da antena alimentada por cabo coaxial.....	56
Figura 39: Medição do VSWR da antena alimentada por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: características da antena alimenta por linha de transmissão, com substrato de fenolite.....	40
Tabela 2: Resultados da antena alimenta por linha de transmissão, com substrato de fenolite.....	45
Tabela 3: Resultados da antena alimenta por cado coaxial, com substrato de fenolite.....	48
Tabela 4: Características da antena por linha de transmissão, com substrato de fibra de vidro.....	49
Tabela 5: Resposta da antena por cabo coaxial, com substrato de fibra de vidro.....	53
Tabela 6: Características da antena por cabo coaxial, com substrato de fibra de vidro.....	54
Tabela 7: Resposta da antena por linha de transmissão, com substrato de fibra de vidro.....	58

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Revisão bibliográfica	15
1.4 Metodologia.....	19
2. Antenas	20
2.1 Diagrama de radiação.....	20
2.1.1 Antenas isotrópicas, direcional e omnidirecional.....	21
2.2 Diretividade.....	22
2.2.1 Largura de feixe.....	22
2.3 Ganho.....	23
2.4 Impedância de entrada.....	24
2.5 Eficiência.....	24
2.6 Tipos de antenas.....	25
2.6.1 Dipolo.....	25
2.6.2 Yagi-Uda.....	26
2.6.3 Antena parabólica.....	27
3. Antena de microfita	28
3.1 Projeto de uma antena de microfita.....	30
3.2 Cálculos.....	30
3.3 Simulações da antena de microfita.....	36
3.3.1 HFSS.....	36
3.4 Construção de uma antena de microfita.....	37
4. Resultados de simulações e experimentais	38
4.1 Análise das simulações de antenas.....	38
4.2 Resultados das medições.....	40
4.2.1 - Utilizando alimentação por linha de transmissão, com substrato de fenolite.....	40

4.2.2 – Utilizando alimentação por cabo coaxial, com substrato de fenolite.....	45
4.3 – Utilizando substrato de fibra de vidro.....	48
4.3.1 – Utilizando alimentação por linha de transmissão.....	49
4.3.2 – Utilizando alimentação por cabo coaxial.....	53
5. Considerações finais.....	59
6. Referências.....	60

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, os avanços tecnológicos têm influência direta na vida das pessoas. Sem esses seria impossível fazer transmissões tão precisas quanto as que temos hoje. Esses avanços estão cada vez mais presentes na área de telecomunicação. Essa palavra vem do grego e inclui o prefixo tele, que significa “distância” ou “longe” e communis, que significa “comum” (ROCHA; et al, 2012). Desse modo, telecomunicação está associado a informar, anunciar ou coletivizar ideias a distância.

Um dos dispositivos que vem ganhando destaque no mundo da telecomunicação é a antena. Isso porque é muito utilizada em situações práticas e, ao mesmo tempo, tão importante para o nosso dia a dia. Ela foi proposta pela primeira vez por um físico alemão chamado Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) no século XVII. Sua intenção inicial era construir um sistema para irradiar e detectar ondas de rádio na tentativa de provar a existência da radiação de ondas eletromagnéticas.

Muitos são os tipos de antenas conhecidos até hoje. Entre outros, podemos citar as do tipo Dipolo, Yagi-Uda, Log–periódica, parabólica, microfita. Contudo, nesse trabalho vamos nos deter no estudo das antenas de microfita, datada desde o ano de 1953 por Dechamps e Sichak.

A antena de microfita consiste, principalmente, em um patch metálico (parte irradiante) com um ponto de alimentação sobre um substrato, que geralmente é dielétrico, no qual possui um plano de terra na sua parte inferior. Por seu elemento irradiante ser o patch, é possível construí-las de diferentes formas: retangular, triangular, circular, etc.

Alguns dos argumentos nos quais justificam o uso de antenas de microfita na atualidade, bem como constante interesse pelo estudo nessa área, são: custo reduzido, estrutura simples, formato ajustável e compatibilidade com

circuitos impressos. Por apresentar tais características, são mais atrativas quando comparadas a outros tipos de antenas em projetos da área da telecomunicação.

Busca-se neste trabalho analisar, projetar e simular o comportamento de antenas do tipo microfitas, estudando suas principais características, seus parâmetros e sua aplicabilidade.

1.1 OBJETIVOS

Esta seção descreve, brevemente, os objetivos geral e específico necessário para a implementação do projeto.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise paramétrica das antenas patch de microfitas. Assim, estudar o efeito do dielétrico, da geometria do patch e do plano de terra no desempenho da antena. Além disso, projetar antenas patch de microfitas para a frequência de 2,4GHz.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema;
- Analisar e projetar antenas de microfitas;
- Simular as antenas projetadas;
- Construir e medir antenas com bom desempenho;
- Comparar os resultados simulados e medidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os avanços tecnológicos estão surgindo a todo o momento. Isso porque a tecnologia está diretamente ligada a superioridade de uma nação, seja ela econômica, militar, avanços sociais e nas telecomunicações, fazendo com que ocorra uma corrida pela criação de novos mecanismos e otimizações dos aparatos tecnológicos já criados. Não é diferente para as antenas, já que elas têm um papel importante em várias áreas da sociedade.

Em meio a toda essa globalização, é fácil perceber o quanto refém estamos e precisamos dela em vários momentos do nosso dia a dia. As

antenas são indispensáveis, por exemplo, para que possamos assistir a um programa de televisão, telefonar para um amigo e escutar uma música pelo rádio. Essas são algumas das aplicabilidades diretas e corriqueiras do nosso cotidiano. Além dessas, as antenas também estão presentes nas situações nas quais envolvem tecnologia de ponta, tais como satélites, nos mísseis e nas aeronaves. Através dessas aplicações é possível notar a importância desse dispositivo, e o quanto seu estudo pode levar a humanidade a outros níveis de tecnologias.

Dessa forma, faz-se necessário o estudo dessas antenas, para que se possa encontrar formas de otimizar seu desempenho. Portanto, este trabalho busca realizar um estudo sobre antenas de microfita.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A busca cada vez maior por mobilidade e dispositivos leves, compactos e com custo reduzido, têm chamado a atenção dos pesquisadores e profissionais mundiais (OLIVEIRA, 2008). Essas características estão cada vez mais presentes na área de telecomunicação.

Um dos dispositivos que continuam chamando a atenção dos pesquisados são as antenas. Elas estão presentes no nosso dia a dia, como nos celulares, rádios, televisão, *wi-fi*, etc. Algumas das características que justificam o uso de antenas de microfita na atualidade, bem como o constante interesse pelo estudo nessa área, são: volume e baixo custo, formato ajustável, compatibilidade com circuitos impressos e uma construção simples (LACERDA; JUNIOR, 2008).

Alguns parâmetros são necessários para determinar o bom desempenho de uma antena, como: impedância, ganho, largura de banda, diretividade, diagrama de irradiação e polarização (ROCHA; et al, 2012). Só ao final de fazer uma análise dessas características pode-se encontrar uma antena para um projeto inicialmente pensado. Hoje em dia o maior problema com a utilização das antenas de microfita está relacionada com a largura de banda que é muito pequena.

Seguindo essa linha de raciocínio, em 2008 foi proposta uma antena do tipo microfita em que o objetivo principal é ampliar a largura de banda. A estrutura da antena consiste de um monopolo trapezoidal simples. Como resultado, mostra que a antena tem perda de retorno de 10dB de 790 a 2060MHz, melhoria de largura de banda de 112,4% em relação ao design tradicional (CHING; TAM, 2008).

Já em 2010, outro artigo tratou de um trabalho diferenciado quanto aos demais porque foi a primeira vez em que foi desenvolvida uma antena com polarização dupla. Fabricada em um substrato dielétrico, utiliza diodos e possui respaldo de cavidade dupla. Observou-se uma largura de banda de 10dB variando entre 0,9% a 0,6GHz até 1,8% a 1,0 GHz (WHITE, 2010).

Avançando mais um ano, em 2011, as antenas patches se voltavam a novas implementações, como o interesse em integrar roupa e dispositivos eletrônicos. Tudo isso corroborou com o surgimento de novas estruturas e técnicas nas áreas de antenas, logo que, a ideia de se promover uma junção e a aproximação ao máximo da interatividade humana com dispositivos se tornava realidade. Através desse projeto foi possível atender pacientes em um ambiente hospitalar interno. Para isso fez-se necessário a utilização de substrato simulando tecidos de roupas de modo a integrar antena e usuário (JUNG; HA, 2011).

No ano seguinte, desenvolveu-se um trabalho no qual apresenta uma análise das impedâncias de antenas com patch retangular com alimentação diferencial. Como resultado, mostra que a impedância gerada por essa antena exibe um comportamento do cosseno ao quadrado sobre a distância. Apresenta, ainda, expressões simplificadas para calcular as posições de alimentação de impedância de uma antena com esse modelo (TONG; STELZER; MENZEL, 2012).

Já em 2013, foi realizado o projeto e análise de uma antena de varredura de frequência de polarização dupla, que operava em uma faixa de frequência de 2,7-3,0 GHz, para aplicações de medição meteorológicas. Os

elementos de patch empilhados são acoplados a linhas de alimentação através de slots gravados no plano de terra. Uma parede de furos no meio da coluna da antena é projetada para melhorar o isolamento entre as duas portas de entrada. Houve uma boa convergência entre os resultados de simulação e medições (KARIMKASHI; ZHANG, 2013).

Um ano depois, foi realizado um projeto no qual são feitas reconfigurações de frequências em microfita alimentada por sonda. Isso é possível com auxílio dos diodos (AL-ZAYED; KOURAH; MAHMOUND, 2014). No mesmo ano, foi projetado uma antena em comunicação avançada usando interruptores opticamente controlados para ajustar a frequência de ressonância de uma antena patch. O controle óptico é preferido em relação ao controle eletrônico porque proporciona um isolamento perfeito entre o controle sinal óptico e sinal de micro-ondas controlado, mesmo em alta velocidade de comutação e altas frequências de micro-ondas. Quando o interruptor é iluminado com um laser, a sua condutividade aumenta e é ligado, assim carregando o patch e diminuindo a frequência de ressonância (PENDHARKER; SHEVGAONKAR, 2014).

Ainda em 2014, uma nova proposta de antena foi lançada, com o patch em formato semicírculo, uma linha de alimentação afunilada e um plano de terra trapezoidal, teve como maior objetivo aumentar a largura de banda. Os resultados obtidos mostraram ser satisfatórios (SAMSUZZAMAN; ISLAM, 2015).

Um projeto realizado em 2015, teve o objetivo de apresentar uma antena de patch retangular alimentada por acoplamento de proximidade fabricado em substrato têxtil. A antena era projetada visando dois objetivos simultaneamente: facilitar a fabricação da antena têxtil e otimizar o seu funcionamento. Foi proposta uma estrutura de alimentação, que emprega um quarto de onda transformador em cascata para uma linha de transmissão aberta conectada eletromagneticamente ao radiador. Observou-se que as larguras de banda distintas podem ser alcançadas ajustando as dimensões da linha de alimentação e largura do radiador. Um procedimento de projeto para a antena de acoplamento de proximidade modificada é apresentado. As antenas de

patch retangulares que utilizam larguras de linha de entrada distintas foram projetadas no substrato dielétrico de denim para operação na faixa ISM de 2,45 GHz e para o elemento radiante, linhas de alimentação e plano de terra foi utilizado um elemento radiante. Ainda no mesmo ano, um trabalho tem como objetivo uma antena que trabalhe em frequências de terahertz (GRILLO; CORRERA, 2015).

Um projeto implementando um novo formato de patch retangular com uma fenda foi realizado no ano de 2016. Seu objetivo era de aumentar a largura de banda e os resultados mostraram estar dentro do esperado (KASHVAP, 2015).

Nos dias de hoje, a criação de novas tecnologias no âmbito das telecomunicações está cada vez mais sofisticada, e em relação a tecnologia 5g, que será a próxima e está em estudos e desenvolvimentos exige uma ampla largura de banda e direcional. De modo a realizar estudos nessa área esse projeto produziu uma antena microchip de grade flexível (MGAA) fabricada pela impressão do patch e do plano de solo usando uma camada de borracha condutora sobre uma camada de substrato de polidimetilsiloxano (PDMS). Esta antena tem como propósito operar na faixa de frequência de 14GHz e é composto por 24 elementos radiais para obter um alto ganho e características de tamanho compacto. Os resultados dessa antena mostram características de banda larga na perda de retorno e pode funcionar em estado de flexão sem sacrificar o desempenho, mostrando que a antena desenvolvida pode ser futuramente aplicada na comunicação, especialmente no 5g (RAMLI; et al, 2017).

Diante do exposto, é possível concluir que, em relação às antenas convencionais (tais como a parabólica, antenas de fio, de abertura, etc), a do tipo microfita apresentam muitos atrativos no mundo das telecomunicações, uma vez que apresenta vantagens tais como: custo reduzido, estrutura simples, facilidade de construção e instalação e adaptável a qualquer superfície.

1.4 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma pesquisa experimental que iniciou com o desenvolvimento das atividades de estudos e de planejamento das ações para realização do projeto.

Dentre as atividades de estudo, houve uma continuidade do levantamento bibliográfico, de forma mais aprofundada, para subsidiar com mais propriedade o tema desse trabalho. Entre os temas de estudo, destaca-se: teoria de antenas, antenas de microfita, linha de transmissão e ANSYS HFSS.

Após realizada a revisão bibliográfica, dedicou-se um tempo para estudar os cálculos e parâmetros, repetindo também os exemplos feitos em BALANIS,2005, adequando-os assim valores para os do nosso projeto. Só então, partimos para as simulações utilizando o ANSYS HFSS. O primeiro passo foi a repetição dos projetos lidos anteriormente, onde busca-se obter melhor entendimento e experiência no software trabalhado. Após isso, foi modificado alguns parâmetros e observou-se a influência exercida sobre a resposta da antena.

Em seguida será feito o projeto das antenas de microfita e as simulações. Além disso, foram construídas as antenas que tiveram melhor desempenho.

Quanto a parte de construção, foi utilizado o HFSS com o intuito de gerar um arquivo no formato DXF que é utilizado para imprimir o formato da antena em um adesivo e, com isso, utilizar o percloro de ferro para corrosão da placa.

2. ANTENAS

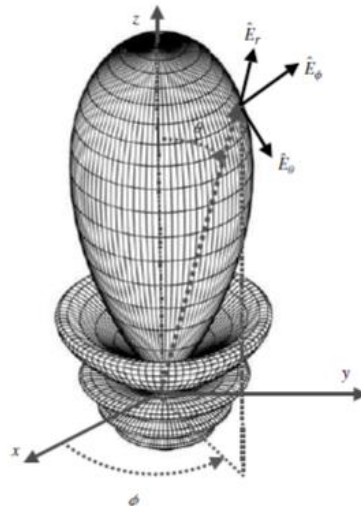
As antenas foram propostas pela primeira vez por um físico alemão chamado Heinrich Hertz, que ao tentar provar a existência das ondas eletromagnéticas, teoria de James Clerk Maxwell, sentiu a necessidade de construir um aparelho que pudesse emitir e receber essas ondas. Inicialmente esse dispositivo foi construído com duas placas metálicas conectadas a bastões também de metal. Esses eram ligados a duas esferas separadas entre si, com uma distância já calculada. Ao comprovar a existência dessas ondas, seu nome ficou como unidade de frequência: Hertz.

Com o passar do tempo, os estudos sobre as antenas foram se intensificando e como fruto disso foram desenvolvidas fórmulas e maneiras de prever o funcionamento e aperfeiçoamento de seu desempenho. Os principais parâmetros para medir seu desempenho são: diagrama de radiação, diretividade, ganho, largura de feixe, impedância de entrada, área efetiva, largura de banda e eficiência. Além disso, as antenas podem ser divididas em três categorias: as de fio, de abertura e arranjo de antenas. Cada parâmetro será tratado, bem como alguns tipos de antenas.

2.1 DIAGRAMA DE RADIAÇÃO

O diagrama de radiação é uma representação gráfica do comportamento da radiação de uma antena em um espaço tridimensional, conforme representado na Figura 1. Nela é possível visualizar os lóbulos principais, que contém a direção de máxima radiação, e secundário que é qualquer outro lóbulo excetuando-se o principal. Os lóbulos secundários, normalmente, fazem referência a uma radiação indesejável, por isso devem ser ao máximo minimizados.

Figura 1: Diagrama de radiação



Fonte: BALANIS, 2005, p. 31

A radiação varia de antena para antena, podendo assumir as mais diversas formas de radiação. Para melhor compreensão elas foram divididas em três classes, sendo elas: Isotrópica, direcional e omnidirecional.

2.1.1 – Antenas isotrópicas, direcional e omnidirecional

A antena isotrópica é idealizada como um dispositivo que tem a mesma radiação em todas as direções e é normalmente utilizada como referência para analisar a diretividade das antenas reais. Essas não irradiam da mesma forma em todas as direções. As antenas direcionais, por sua vez, só recebem ou transmitem com eficiência sinais em apenas algumas direções. Já as antenas omnidirecionais são as que radiam uniformemente dentro do plano azimute.

Figura 2: Diagrama de antenas isotrópica, omnidirecional e direcional



Fonte: MARTÍNEZ, 2013. Disponível em:

<http://www.monografias.com/trabajos98/parametros-fundamentales-antenas/parametros-fundamentales-antenas.shtml>. Acesso em: 25 jul. 2017.

2.2 – DIRETIVIDADE

A maioria das antenas reais são diretivas, ou seja, elas concentram sua recepção ou radiação em apenas uma direção. Tal princípio nos leva para o entendimento do parâmetro diretividade, que é a razão entre a intensidade da radiação em uma determinada direção e a intensidade da radiação média em todas as direções. Quanto maior a radiação em uma determinada direção mais diretiva será a antena. Podemos calcular a diretividade através da equação 1. Se desejarmos, ainda, calcular a diretividade máxima, utilizamos a equação 2.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1)$$

Ou

$$D_{max} = D_0 = \frac{U|_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

Em que:

D : Diretividade

U : Intensidade da radiação

U_0 : Intensidade de radiação da fonte isotrópica

$D_{max} = D_0$: Diretividade máxima

P_{rad} = Potência total radiada

U_{max} = Intensidade máxima da radiação

2.2.1 – Largura de banda

Largura de banda pode ser definida como a faixa de frequência na qual o desempenho da antena, em relação a algumas das suas características, está de acordo com o especificado. Ou seja, o intervalo em que o ganho, impedância de entrada, nível do lóbulo lateral, eficiência de radiação, etc. estão

dentro de um valor aceitável se comparados com a frequência central (BALANIS, 2005).

Para antenas de largura de banda estreita usamos a seguinte equação para expressar a largura, em porcentagem.

$$[(f_2 - f_1)/f_0] * 100 \quad (2)$$

onde:

f_0 =Frequência centra, que a antena foi feita para trabalhar

f_1 = Frequência de uma das bordas de limite que a antena trabalha dentro do aceitável

f_2 =Frequência de uma das bordas de limite que a antena trabalha dentro do aceitável

Já para antenas de banda larga utiliza-se a proporção das frequências. Por exemplo, 100:1, isso significa que a frequência de superior é 100 vezes maior que a inferior (BALANIS, 2005).

2.3 – GANHO

Podemos definir ganho como a capacidade que uma antena tem de concentrar a radiação em sua direção de máxima radiação quando comparada com outra antena de referência, que normalmente é uma isotrópica. Podemos calcular o ganho a partir da seguinte fórmula:

$$G_0 = e_{ed}D_0 \quad (3)$$

Ou

$$G_0 = 10\log(e_{ed}D_0) \quad (\text{em dB})$$

Onde:

G_0 = Ganho total da antena;

e_{ed} = Eficiência dielétrica;

D_0 = Diretividade máxima.

2.4 – IMPEDÂNCIA DE ENTRADA

Podemos definir impedância de entrada como a impedância que uma antena apresenta em seus terminais. Pode ser influenciada por vários fatores, como, por exemplo, os materiais que compõem a antena, a frequência do sinal de operação e pela forma. O conhecimento da impedância de entrada é de extrema importância, pois a eficiência da transmissão e recepção está ligada a ela. Podemos obter a impedância de entrada através do cálculo usando a seguinte equação:

$$Z = R + jX \quad (4)$$

2.5 – EFICIÊNCIA

A eficiência total da antena é um parâmetro que leva em conta as perdas devido a: reflexões, que é gerada devido descasamento de impedância entre a linha de transmissão e a antena, e perdas nos condutores e dielétrico. A eficiência pode ser calculada por:

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (5)$$

Onde:

e_0 = eficiência total

e_r = eficiência de reflexão

e_c = eficiência do condutor

e_d = eficiência dielétrica

Sendo a eficiência de reflexão calculada por:

$$e_r = (1 - |r|^2) \quad (6)$$

onde, r é o coeficiente de reflexão, calculado por:

$$r = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0) \quad (7)$$

Onde, Z_{in} é a impedância de entrada da antena e Z_0 impedância característica da linha de transmissão.

Já o coeficiente de onda estacionária (VSWR) é uma função do coeficiente de reflexão. Podemos calcular o VSWR através da seguinte fórmula:

$$VSWR = \frac{1+|r|}{1-|r|} \quad (8)$$

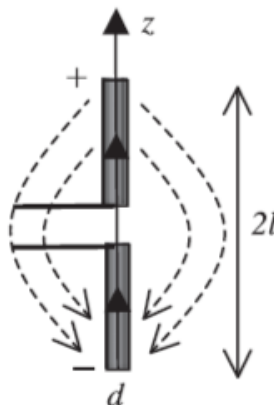
2.6 – TIPOS DE ANTENAS

Existem vários tipos de antenas, cada uma com suas características desenvolvidas para atender as demandas do mercado. Entre elas podemos destacar algumas por sua simplicidade e eficiência.

2.6.1 – Dipolo

A antena dipolo consiste, de maneira geral, em dois condutores retilíneos alinhados (hastes do dipolo). Vale salientar que Hertz usou essa forma de antena para seu famoso experimento, que buscava comprovar a existência das ondas eletromagnéticas. A Figura 3 ilustra uma antena tipo dipolo.

Figura 3: Antena Dipolo



Fonte: HUANG, BOYLE, 2008, p.130

Para calcular as dimensões de um dipolo utilizamos a mesma equação do comprimento de onda.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (9)$$

Onde,

λ = Comprimento de onda, em metros

c = Velocidade da luz no vácuo, igual a $3 * 10^8$ m/s

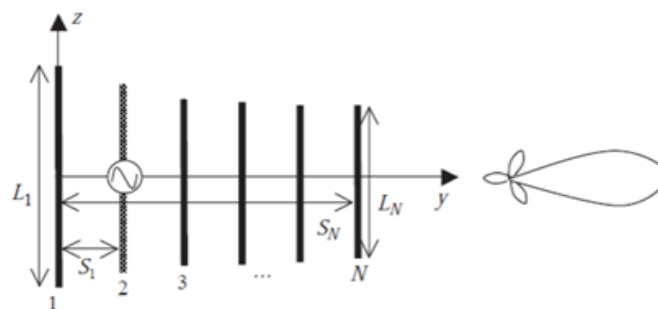
f = Frequência, em Hertz

2.6.2 – Yagi-Uda

A antena Yagi-Uda recebeu esse nome em homenagem aos seus inventores Yagi e Uda, que eram dois professores japoneses que desenvolveram ela nos anos de 1920. Tais antenas são usadas em bandas VHF e UHF (30MHz a 3GHz) graças ao seu baixo custo, simplicidade e alto ganho.

Esse tipo de antena é composto pelos elementos irradiador (ativo), refletor e diretor, como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Configuração da antena Yagi-Uda



Fonte: HUANG, BOYLE, 2008, p.153

Algumas pessoas acreditam que essa antena deveria ser classificada como arranjo de antena partindo do ponto que ela tem mais de um elemento, porém só possui um único elemento ativo e os outros elementos são parasitas.

2.6.3 – Antena parabólica

Uma antena é dita parabólica por ter sua construção derivada de uma superfície obtida através da rotação de uma parábola ao redor de seu eixo. Esta forma de superfície reflexiva na antena na qual permite que ondas refletidas pela superfície mantenham sua relação de fase. Esse tipo de antena comumente encontra-se no alto de residências e edifícios é formada por um refletor em formato de parábola responsável por refletir as ondas para o ponto focal, ou vice-versa, já que a antena parabólica pode trabalhar como emissor. Nesse caso, o ponto focal terá um emissor de ondas que refletirá na parábola, fazendo um caminho contrário a que ela faria caso recepcionasse.

A forma de parabolóide na qual caracteriza esse tipo de antena faz com que ela apresente um ganho proporcional ao diâmetro da abertura da parábola e sua diretividade seja bastante elevada, pois apenas as ondas paralelas ao receptor localizado no ponto focal serão refletidas para o mesmo, enquanto as ondas não paralelas serão direcionadas para um caminho qualquer fazendo com que não haja qualquer tipo de interferência de outros sinais no sinal desejado.

Figura 5: Antena parabólica



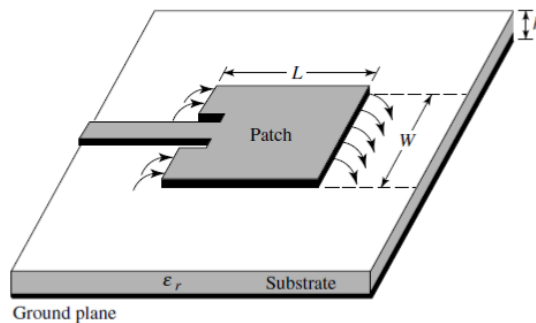
Fonte: Disponível em:

https://www.google.com.br/search?q=antena+parab%C3%B3lica&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjdp5bElaDYAhWlhAKHZiNDhEQ_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgrc=Ufp6z24ketQ-xM:

3 - ANTENAS DE MICROFITA

Nas últimas décadas, as antenas que se tornaram um dos temas mais estudados na área das telecomunicações foram as do tipo microfita devido as suas várias vantagens de uso, como: baixo custo, fácil adaptação ao circuito, leve e de simples construção. Porém, ela ainda tem algumas características que podem ser indesejadas, como largura de banda estreita, perda de retorno e ganho pequeno. A Figura 6 mostra o projeto de uma antena do tipo microfita básica, formada por um material plano dielétrico, um patch (elemento irradiador), sua alimentação (que pode ser feita de várias formas) e atrás do dielétrico um plano terra.

Figura 6: antena patch retangular alimentada por linha de microfita



Fonte: BALANIS, 2005, p. 812

Para que uma antena tenha um comportamento dentro do esperado é necessário ter um bom planejamento, que vai de frequência desejada, permissividade do material dielétrico, formato e dimensões do patch (elemento irradiador) até o método de alimentação.

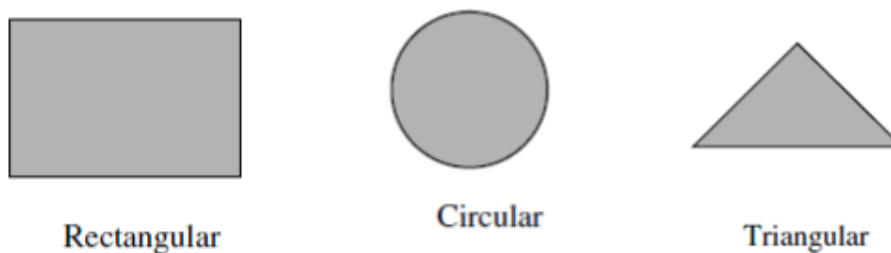
Essa alimentação pode ser de várias formas. As mais conhecidas são alimentação por uma linha de microfita, cabo coaxial, acoplamento de abertura e por proximidade. Cada tipo de alimentação tem sua vantagem e desvantagem que vamos comenta-las, respectivamente. A primeira delas é o fato da sua fácil construção. Contudo, a linha de microfita pode ocasionar o descasamento de impedância e dependendo da dimensão da antena pode acontecer uma irradiação da parte da linha ocasionando assim uma interferência no sinal.

A segunda não sofre com esse problema de irradiação, é fácil de combinar e fabricação, porém possui largura de banda estreita. A terceira é fácil de modelar e não sofre com o problema de radiação, no entanto, é o mais difícil de se construir sem contar com a largura de banda estreita. A quarta e última é a que tem a largura de banda maior (o que traz vantagem para essa forma, pois um grande problema para os pesquisadores é achar formas de aumentar a largura de banda), fácil de modelar e baixa radiação espúria, mas é de difícil fabricação.

Mas a alimentação não é o único jeito de interferir na largura de banda, pois o material dielétrico usado como substrato interfere diretamente nessa largura. Hoje em dia, temos várias opções que podem ser usados para a fabricação de antenas, com a permissividade entre $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Vale salientar que é aconselhável usar um material mais grosso, visto que, quanto maior a espessura do material, maior é a largura de banda e melhor a eficiência.

Além do modo de alimentação e o substrato, outro modo de prever e manipular o comportamento de uma antena é escolhendo o formato do seu patch (elemento irradiador). Os modelos mais comuns são os retangulares, triangulares e circular, como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Configurações mais comuns das antenas de microfita



Fonte: BALANIS, 2005, p. 813

3.1 – PROJETO DE UMA ANTENA DE MICROFITA

O projeto da construção de uma antena é de extrema importância, pois apenas dessa maneira podemos prever e controlar seu comportamento. Tal projeto se divide em 3 partes: Cálculo dos parâmetros, simulações e construção.

Para melhor compreensão as seções abaixo vamos usar como exemplo a antena da Figura 6, para explicar os processos do planejamento e construção.

3.2 – CÁLCULOS

O primeiro passo a ser tomado ao decidir construir uma antena é calcular suas medidas. Como o comprimento (L) e a largura (W), vale salientar que alguns parâmetros devem ser decididos previamente como h , ϵ_r , f e R_{in} , sendo h a altura do substrato, ϵ_r a permissividade do material do substrato, f a frequência em que a antena irá operar e R_{in} a resistência da alimentação. Todos os cálculos desenvolvidos a seguir foram feitos com base no livro Balanis.

Neste projeto usamos $h = 1,59 \text{ cm}$, $\epsilon_r = 3,9$, $f = 2,4 \text{ GHz}$ e $R_{in} = 50\Omega$. Primeiramente, calculamos o W através da equação 10.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (10)$$

$$W = \frac{30}{2 * (2.4)} \sqrt{\frac{2}{3.9 + 1}}$$

$$W = 6.25 * 0.638$$

$$W = 3.987 \text{ cm}$$

Ao achamos o W partimos para o cálculo de L fazendo uso da equação 11.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (11)$$

Podemos perceber que para utilizar essa fórmula é preciso calcular primeiro o ΔL e ϵ_{reff} . Assim, calculamos o valor de ϵ_{reff} e em seguida calculamos o ΔL .

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (12)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{3,9 + 1}{2} + \frac{3,9 - 1}{2} \left[1 + 12 * \frac{0,159}{0,4} \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{3,9 + 1}{2} + \frac{3,9 - 1}{2} [1 + 12 * 0,3975]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{3,9 + 1}{2} + \frac{3,9 - 1}{2} * (5,77)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{3,9 + 1}{2} + \frac{3,9 - 1}{2} * 0,4163$$

$$\epsilon_{reff} = 2,45 + 0,60$$

$$\epsilon_{reff} = 3,05$$

Cálculo de ΔL :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (12)$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412 * \frac{(3,64 + 0,3) * \left(\frac{3,98}{0,159} + 0,264\right)}{(3,64 - 0,258) * \left(\frac{3,98}{0,159} + 0,8\right)}$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412 * \frac{(3,94) * (25,03 + 0,264)}{(3,38) * (25,03 + 0,8)}$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412 * \frac{3,94 * 25,294}{3,38 * 25,83}$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412 * \frac{99,65}{87,3}$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412 * 1,14$$

$$\frac{\Delta L}{0,159} = 0,412$$

$$\Delta L = 0,074 \text{ cm}$$

Só agora podemos calcular o L , fazendo uso da equação 11.

$$L = \frac{30}{2 * (2,4) * \sqrt{3,64}} - 2 * 0,074$$

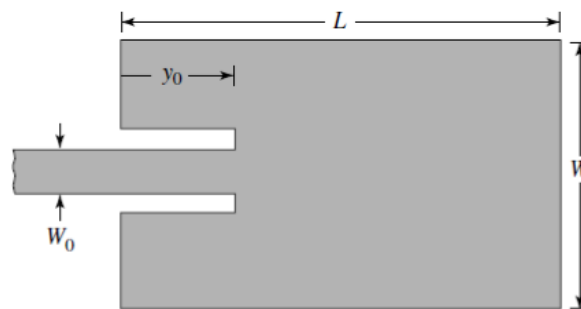
$$L = \frac{30}{4,8 * 1,90} - 0,152$$

$$L = \frac{30}{9,15} - 0,152$$

$$L = 3,27 - 0,152 = 3,126\text{cm}$$

Também é necessário calcular o W_0 , que é a espessura da linha de alimentação da antena, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8: Antena patch microfita com inset feed



Fonte: BALANIS, 2005, p. 824

Existem duas relações que devem ser analisadas para decidir qual equação deve ser usada. São elas:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right], & \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \sqrt{\epsilon_{reff}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right], & \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases}$$

Como a relação $\frac{W_0}{h} \leq 1$ se aplica ao nosso caso, usaremos a primeira fórmula. Dessa maneira, podemos calcular W_0 partindo do pressuposto de que já temos em mente o valor da impedância de entrada da antena. Sendo assim, podemos manipular a fórmula para encontrar o W_0 .

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right] \quad (14)$$

$$50 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} * \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right]$$

$$\ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right] = 50 * \frac{\sqrt{\epsilon_{reff}}}{60}$$

$$\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} = e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$\frac{32h^2 + W_0^2}{4h * W_0} = e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$32h^2 + W_0^2 = 4h * W_0 * e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$W_0^2 - 4h * e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}} * W_0 + 32h^2 = 0$$

$$\Delta = 16h^2 * e^{\frac{10}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 4 * 1 * 32h^2$$

$$\Delta = 16h^2 \left(e^{\frac{5}{3}\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 8 \right)$$

$$W_0 = \frac{4h * e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}} \pm 4h * \sqrt{e^{\frac{5}{3}\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 8}}{2}$$

$$W_0 = 2h \left(e^{\frac{5}{6}\sqrt{\epsilon_{reff}}} \pm \sqrt{e^{\frac{5}{3}\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 8} \right)$$

Resolvendo primeiramente as exponenciais.

$$e^{\frac{5}{6}\sqrt{3,05}} = e^{\frac{5}{6} * 1,746} = e^{1,455} = 4,284$$

$$\sqrt{e^{\frac{5}{6}\sqrt{3,05}} - 8} = \sqrt{e^{\frac{5}{6} * 1,746} - 8} = \sqrt{e^{2,91} - 8} = \sqrt{18,357 - 8} = \sqrt{10,357} = 3,218$$

Voltando para a equação.

$$W'_0 = 2 * 0,159 * 7,502 = 2,3856$$

$$W''_0 = 2 * 0,159 * 1,066 = 0,339$$

Desses dois resultados de W_0 , utilizamos 2,3856 para realização do nosso projeto.

O último valor a ser calculado é o Y_0 .

$$\lambda_0 = \frac{3 * 10^8}{2,4 * 10^9} = 12,5cm$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)$$

$$= \frac{1}{90} \left(\frac{3,987}{12,5} \right)^2 = 0,00113039424 \text{ siemens}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1} \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} Y_0 \right)$$

$$2 * G_1 \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} Y_0 \right)$$

$$100 * G_1 = \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} Y_0 \right)$$

$$0,11304 = \cos^2 \left(\frac{\pi}{31} Y_0 \right)$$

$$Y'_0 = 12,12mm$$

$$Y''_0 = 18,89mm$$

Utilizamos 12,12mm, pois era mais coerente com nossa realidade.

3.3 – SIMULAÇÕES DA ANTENA DE MICROFITA

A parte de simulação da antena é indispensável, pois só assim podemos comprovar os valores anteriormente encontrados pelos cálculos. Além de verificação, serve para analisar a influência de cada parâmetro sobre a resposta da antena.

Os projetos que vão ser abordados neste presente trabalho foram todos simulados no software HFSS.

3.3.1– HFSS

Envoltos num clima de crescente competitividade mundial, é primordial a existência de ferramentas que nos auxiliem a conceber e a aprimorar determinado projeto e tratando-se de antenas, é de total importância softwares que permitam o teste de protótipos virtuais, facilitando a vida dos responsáveis pela engenharia do produto. Atualmente existem várias ferramentas nas quais auxiliam no desenvolvimento de projetos de antenas. O HFSS é um software simulador de campo eletromagnético de onda completa de alto desempenho, que integra simulação, visualização, modelagem de sólidos e automação. HFSS (High Frequency Structure Simulator) é um simulador de alto desempenho desenvolvido pela Ansoft Corporation e por meio dele é possível encontrar uma grande precisão na análise das antenas, facilitando na construção detalhada dos protótipos, nas previsões do comportamento de ondas eletromagnéticas e radiação.

3.4 – CONSTRUÇÃO DE ANTENAS DE MICROFITA

A última fase do processo da fabricação de uma antena é a construção propriamente dita. Sendo assim, é preciso exportar o layout para o *CorelDraw*, logo em seguida imprimir em um papel etiqueta que deverá ser colado em cima

do patch e ground. Esses papéis fazem com que o produto que será usado para corroer o cobre só corroa o necessário.

4. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES E EXPERIMENTAIS

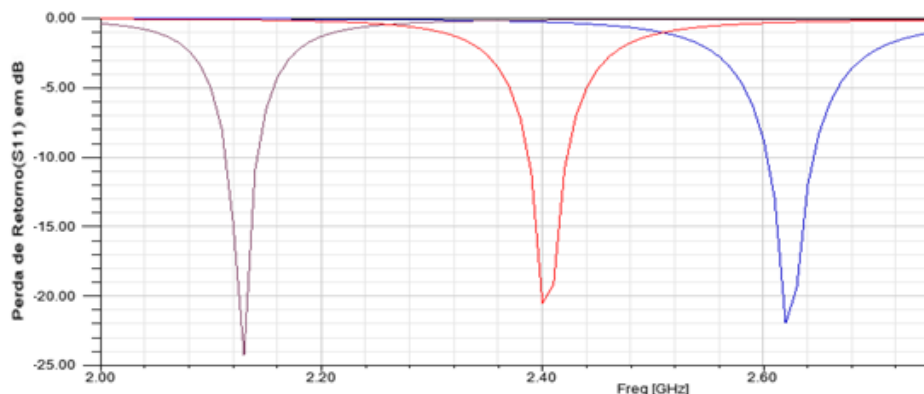
Este capítulo aborda uma análise das simulações e importância de cada parâmetro para a resposta da antena. Os resultados das simulações foram obtidos mediante da utilização do software HFSS. Já os resultados experimentais foram obtidos utilizando um analisador de redes que opera de 9kHz a 4,5 GHz.

4.1 - ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES DE ANTENAS

Usando o software HFSS, alteramos alguns parâmetros com o intuito de observar sua influência sobre a frequência resultante. As Figuras 9, 10 e 11 mostram tais comportamentos, sobre a antena tomada para estudo da Figura 6.

O primeiro parâmetro no qual alteramos foi o comprimento do elemento do patch (L). Por meio da equação 11 é possível notar que o tamanho do L é inversamente proporcional a frequência resultante da antena. Na Figura 9 são mostrados diferentes resultados para L igual a 33,9 mm, 30,9 mm e 2,9 mm, sendo esses: 2,16 GHz, 2,40GHz e 2,62 GHz, respectivamente. Diante desses resultados, é possível notar que quanto maior o valor do L (33,9 mm), menor será a frequência resultante (2,16 GHz).

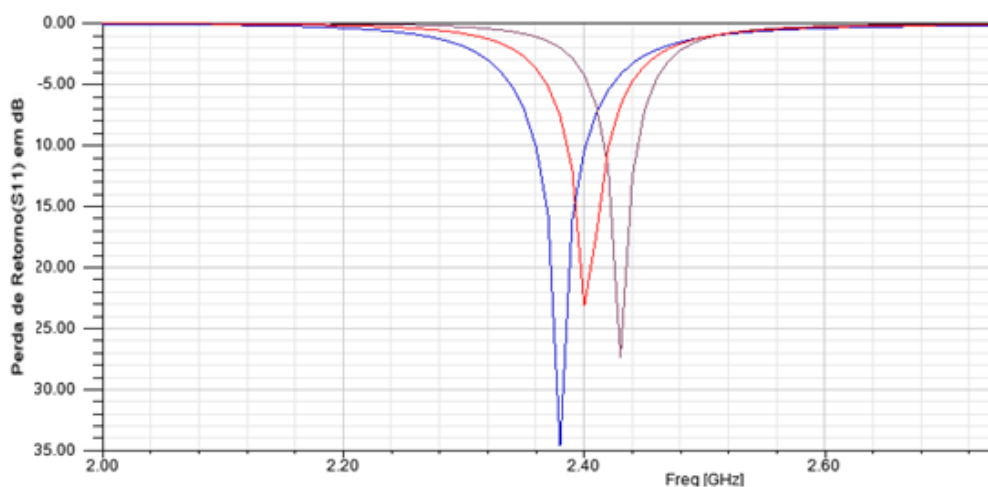
Figura 9: Simulação da antena, alimentada por linha de transmissão, mudando o comprimento do patch.



Fonte: Elaborado pelo autor

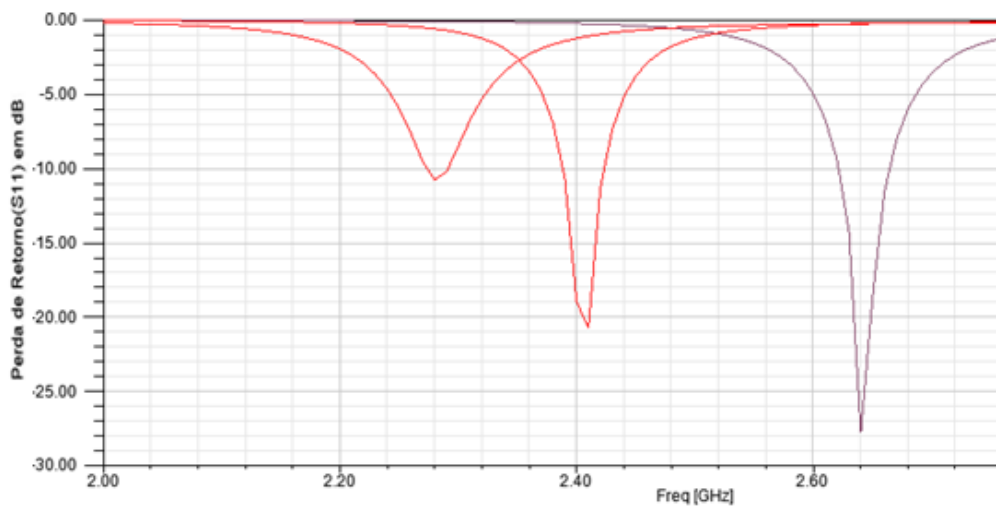
Outro parâmetro analisado foi a variação da altura do dielétrico. Na Figura 10 apresenta os diferentes valores utilizados para fazer a análise, bem como o valor da frequência resultante. Os valores utilizados para as alturas foram 1,19 mm, 1,59 mm e 1,99 mm, tendo como respostas 2,43 GHz, 2,40 GHz e 2,38 GHz. Com esses resultados, constatamos que quanto menor o valor atribuído para a altura do substrato (1,19 mm), maior será a frequência de ressonância da antena (2,43GHz), fazendo com que os valores sejam inversamente proporcionais.

Figura 10: Simulação da antena alterando a altura do substrato



Fonte: Elaborado pelo autor

A permissividade também está diretamente atrelada a frequência da antena. A fórmula 12 mostra que para calcular ϵ_{reff} é preciso a utilização da permissividade relativa ϵ_r , sendo esses diretamente proporcionais. Podemos valer do ϵ_{reff} para encontramos a frequência, visto que são encontrados na mesma equação e são inversamente proporcionais. Os valores que serviram como bases para a realização das simulações foram de 4,4, 3,9 e 3,2, obtendo como respostas as frequências 2,28 GHz, 2,41 GHz e 3,2 GHz, respectivamente. A Figura 11 mostra os resultados dessa simulação para os valores de ϵ_r .

Figura 11: simulação da antena alterando o ϵ_r 

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

Para colocar em prática todos os conhecimentos adquiridos com nossas pesquisas, resolvemos fazer duas antenas de microfita, com patch retangular, sendo uma com alimentação por linha de transmissão e a outra com cabo coaxial.

4.2.1 - Utilizando alimentação por linha de transmissão, com substrato de fenolite

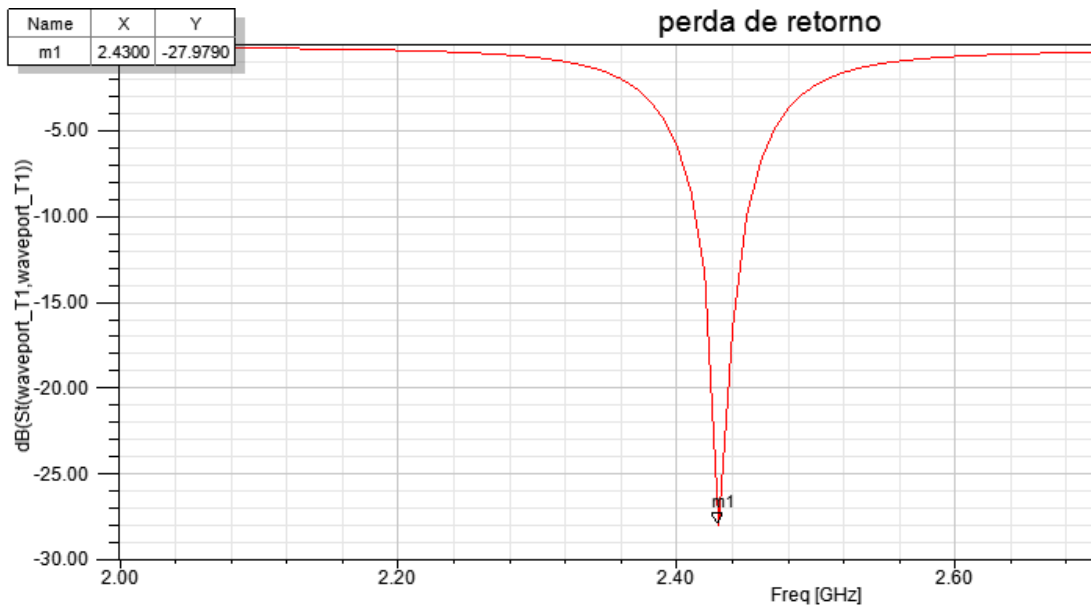
Utilizamos os seguintes valores para construir a antena. Os parâmetros da Tabela 1 são indicados na Figura 8. Para sua implementação, seguimos todos os passos descritos na seção de projeto de microfita.

Tabela 1: características da antena alimenta por linha de transmissão, com substrato de fenolite

Parâmetros	Valores
W	39,11mm
W_0	3,325mm
y_0	10,52mm
L	30,6mm

Inicialmente, simulamos a antena no HFSS e obtivemos o resultado mostrado na Figura 12, na qual ilustra a perda de retorno de -27,97dB com a frequência de trabalho igual a 2,43 GHz.

Figura 12: Simulação da antena de microfita por linha de transmissão.

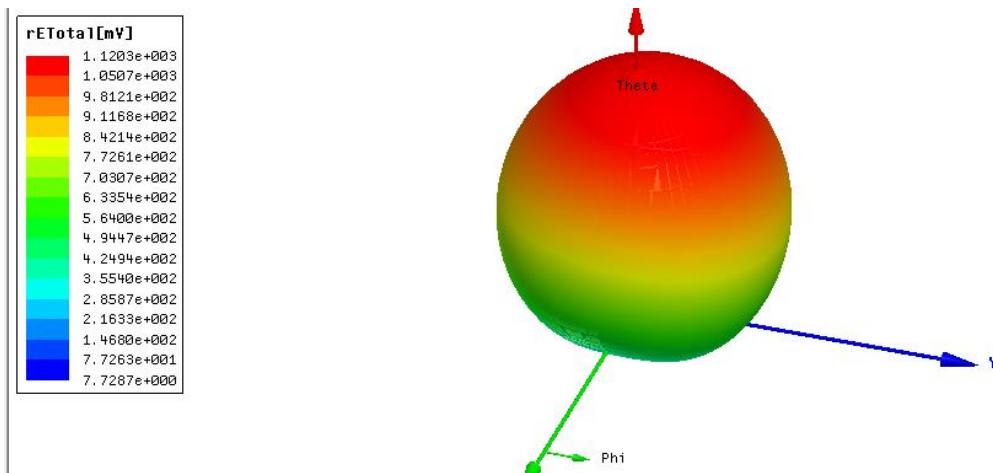


Fonte: Elaborado pelo autor

Analisamos também os diagramas de radiação (3D e 2D), como mostra as Figuras 13 e 14, bem como o diagrama de ganho ilustrado na Figura 15.

No diagrama 3D (Figura 13), observa-se algumas características de uma antena diretiva, onde sua maior potência de radiação está localizada no fim do lóbulo e diminuindo na medida que se distancia de seu ponto de máxima radiação.

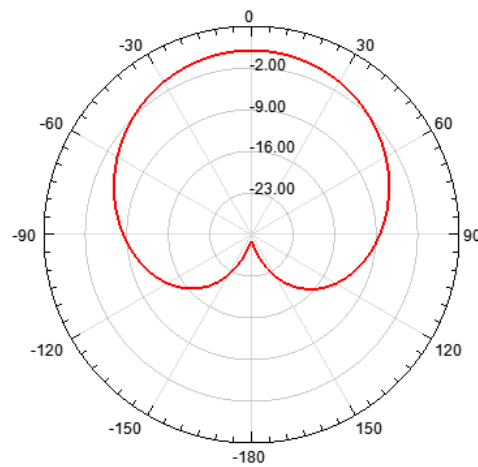
Figura 13: Diagrama de radiação 3D, da antena de microfita por linha de transmissão.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na simulação da Figura 14, notamos a presença de apenas um lóbulo principal, acarretando com que a potência da antena seja melhor aproveitada. Isso acontece porque toda a potência da antena está sendo direcionada para uma direção, mostrando ser uma antena com uma boa qualidade de radiação.

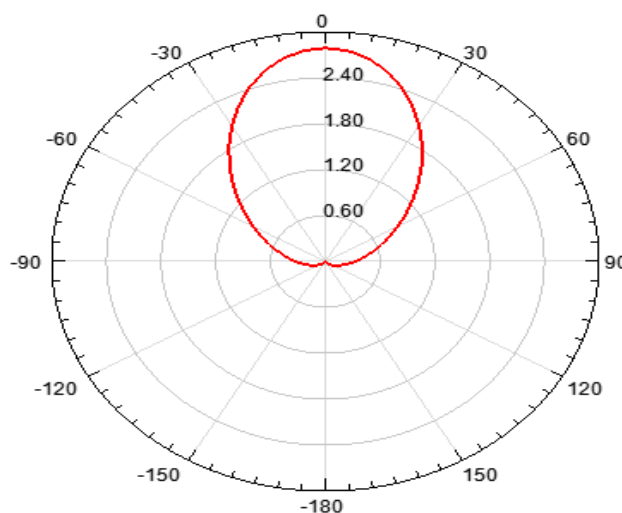
Figura 14: Diagrama de radiação 2D, da antena de microfita por linha de transmissão.



Fonte: Elaborado pelo autor

As antenas patches apresentam entre suas características um baixo ganho e por meio da simulação da Figura 15 foi possível analisá-las e determiná-las. Para essa antena alimentada por linha de transmissão, o ganho encontrado foi 2,815 dB, que está de acordo com as características desta antena.

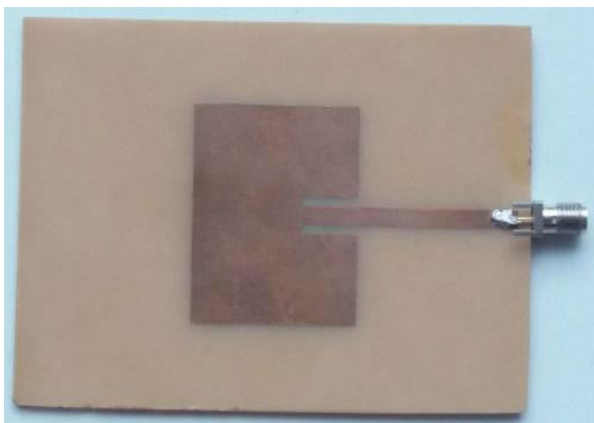
Figura 15: Diagrama do ganho da antena de microfita por linha de alimentação.



Fontes: Elaborado pelo autor

Logo após todo processo de estudo, análise e simulação, passamos o layout das antenas que apresentaram boas respostas para o substrato de fenolite dupla face, no qual apresenta um baixo custo e fácil acesso. Após o processo de determinar as dimensões do substrato e do patch, corremos a placa como mostrado na Figura 16.

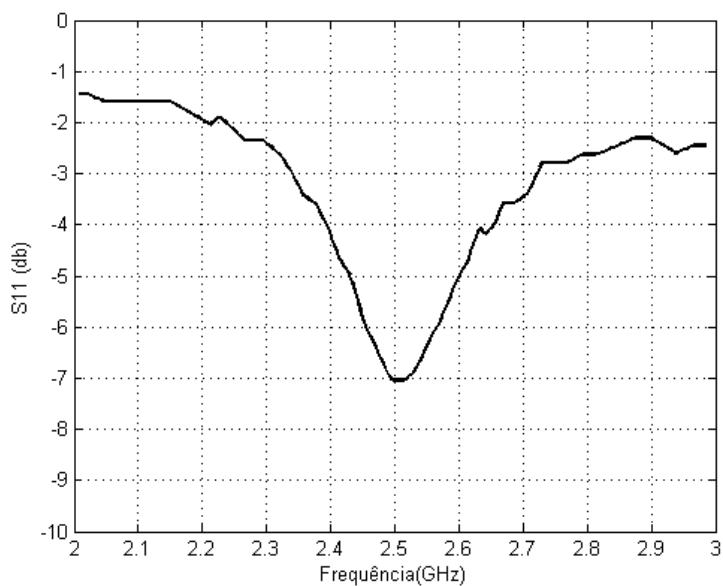
Figura 16: Antena microfita com alimentação por linha de transmissão.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao término da construção, realizamos algumas medições com a antena construída, demonstrado na Figura 17.

Figura 17: Medição da antena alimentada por linha de transmissão.



Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 2 mostra os resultados simulados e medidos da antena.

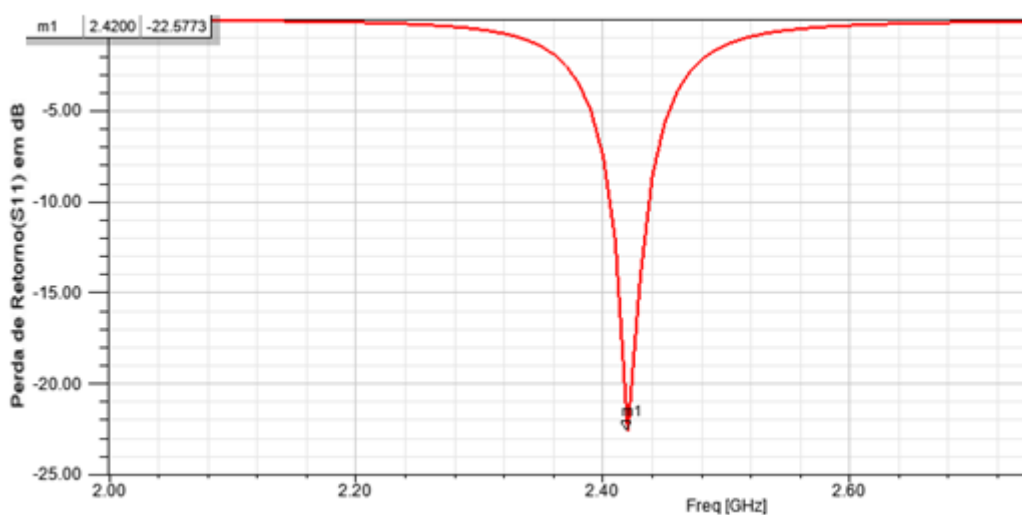
Tabela 2: Resultados da antena alimentada por linha de transmissão, com substrato de fenolite.

	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (em GHz)	2,430	2,503
Perda de retorno (em dB)	-27,97	-7,18
Potência radiada (%)	99,95	80,85

4.2.2 - Utilizando alimentação por cabo coaxial, com substrato de fenolite

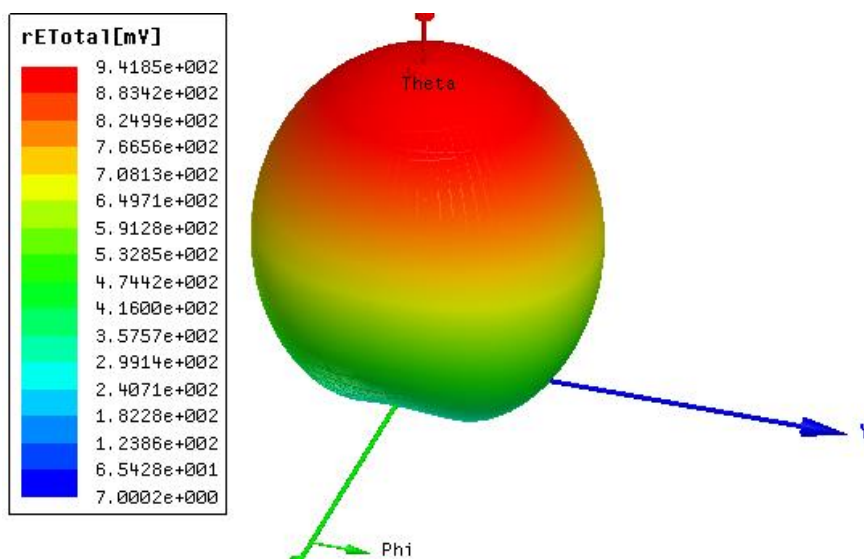
Repetimos os passos da primeira antena, desta vez utilizando alimentação por cabo coaxial, e obtivemos as seguintes respostas em relação às simulações, como mostra as Figuras 18, 19, 20 e 21.

Figura 18: Simulação da antena de microfita por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor

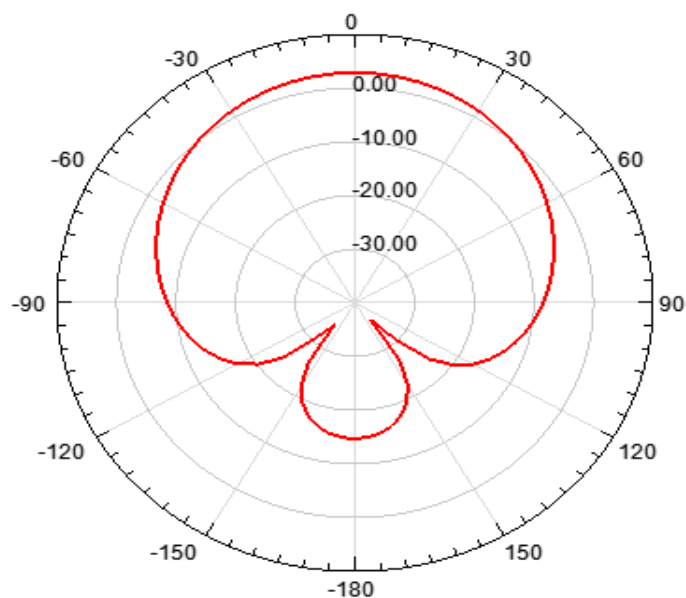
Figura 19: Diagrama de Radiação 3D, da antena de microfita por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor

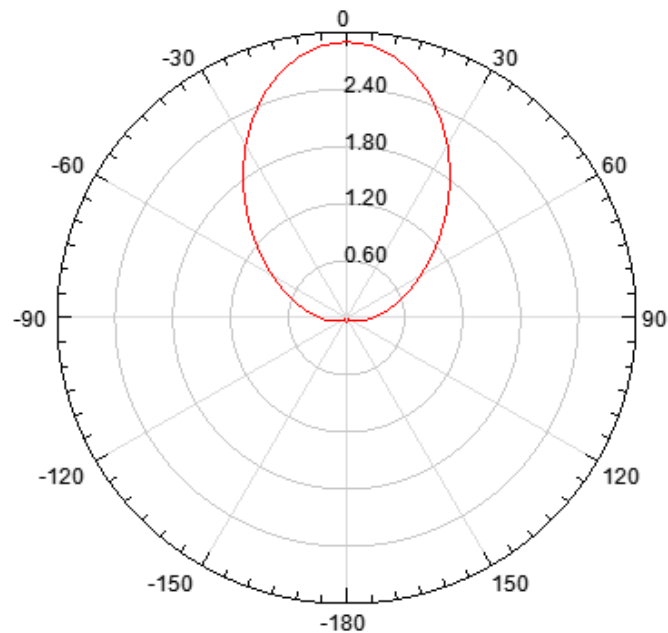
Com base na simulação da Figura 20, percebemos um lóbulo traseiros bastante significativa que fará com que uma parte da potência seja desperdiçada, ou seja, uma parcela da radiação está indo para o lado contrário do lóbulo principal que é a direção desejada.

Figura 20: Diagrama de Radiação 2D, da antena de microfita por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor

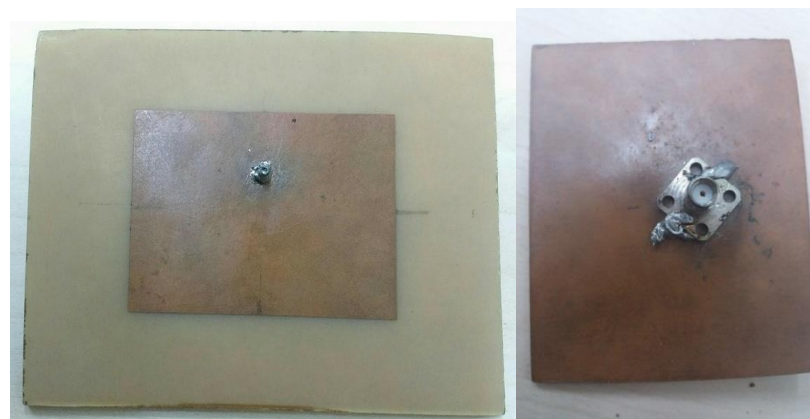
Figura 21: Diagrama do ganho da antena de microfita por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo completado essa etapa, verificou-se que os resultados obtidos, nas simulações, estavam de acordo as especificações de projeto. Então, passamos para a construção das antenas. A Figura 22 ilustra a antena pronta.

Figura 22: Antena microfita com alimentação por cabo coaxial (a) parte superior e (b) Parte inferior.



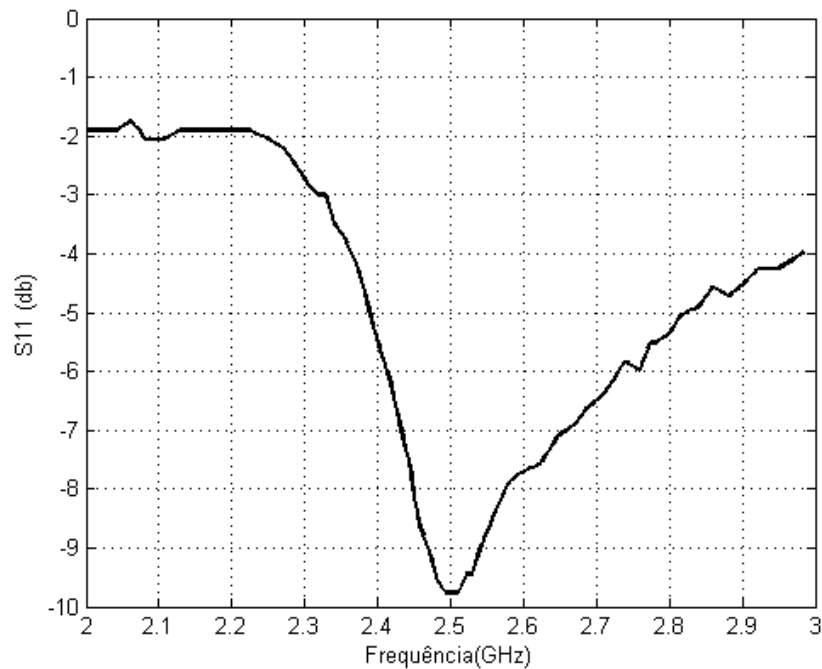
(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 23 iustra a medição da antena construída.

Figura 23: Medição da antena alimentada por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 3 mostra os resultados simulados e medidos da antena construída.

Tabela 3: Resultados da antena alimentada por cabo coaxial, com substrato de fenolite.

	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (em GHz)	2,42	2,49
Perda de retorno (em dB)	-22,57	-9,57
Potência radiada (%)	99,36	88,93

4.3 – Utilizando substrato de fibra de vidro

Os resultados experimentais das frequências de ressonâncias das duas antenas foram satisfatórios. Mas, devido a grande diferença entre os valores simulados e medidos para a perda de retorno, resolvemos refazer as antenas. Porém, dessa vez utilizando um substrato de fibra de vidro, pois a origem da placa de fenolite utilizada era duvidosa fazendo com que não tivéssemos certeza de suas características.

4.3.1 – Utilizando alimentação por linha de transmissão

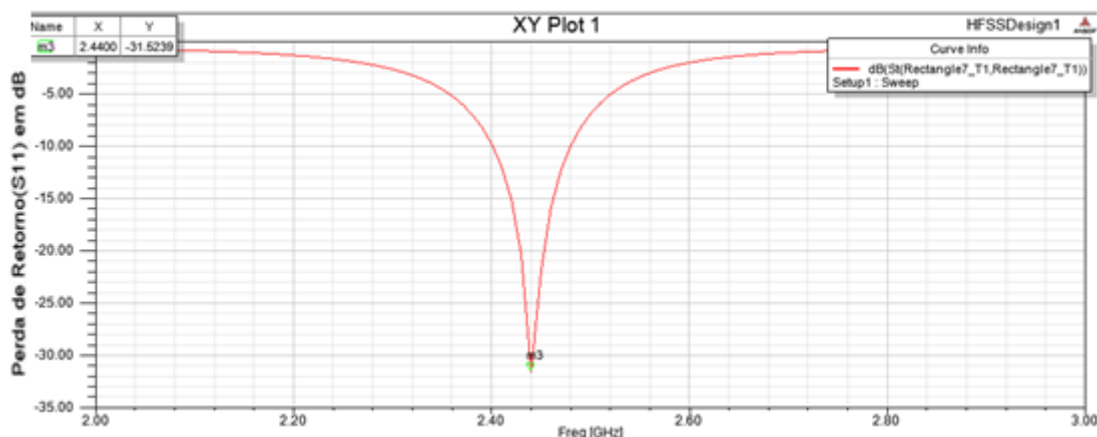
Seguindo os mesmos procedimentos do projeto anterior, obtivemos os seguintes dados para a construção da antena com alimentação por linha de transmissão:

Tabela 4: Características da antena por linha de transmissão, com substrato de fibra de vidro

Parâmetros	Valores
W	37,23mm
W_0	2,87mm
y_0	6.19mm
L	28.85mm

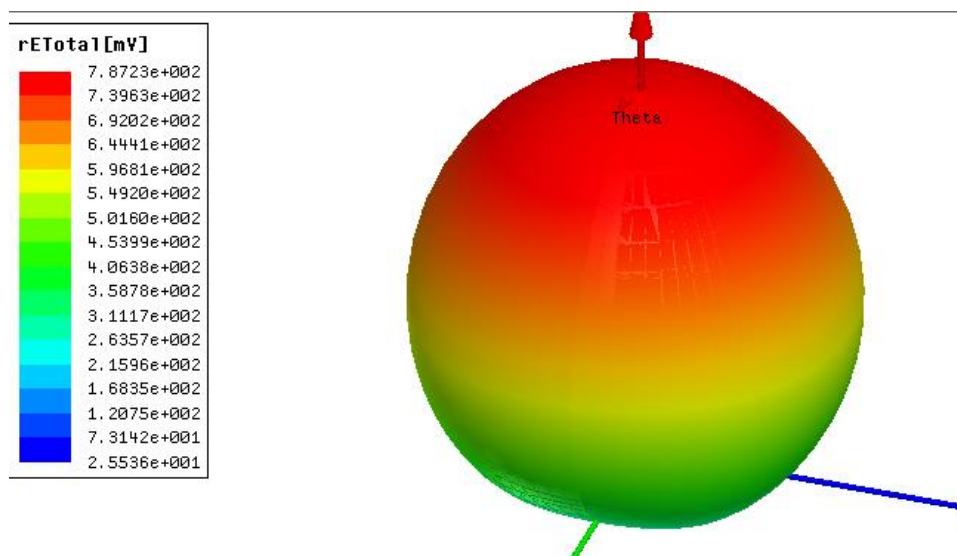
Nas Figuras 24, 25, 26, 27 e 28, podemos observar os resultados das simulações.

Figura 24: Simulação da antena de microfita por linha de transmissão, usando fibra de vidro como substrato.



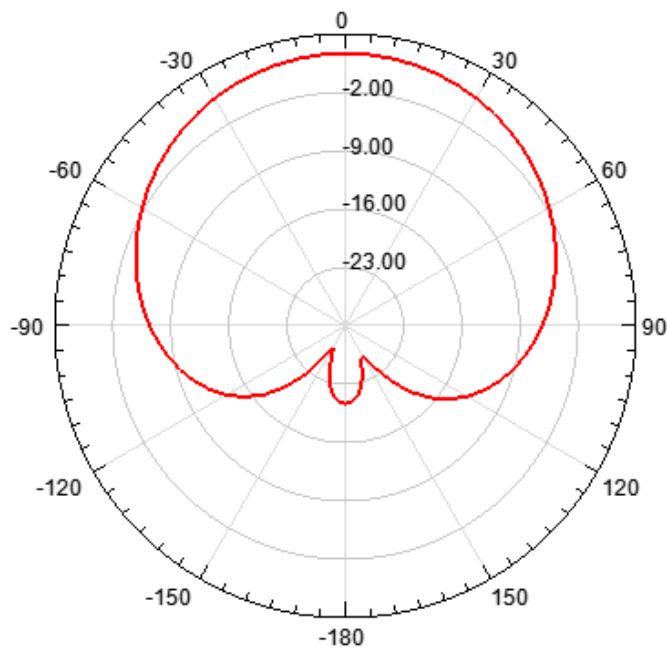
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25: Diagrama de radiação 3D da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando fibra de vidro como substrato.



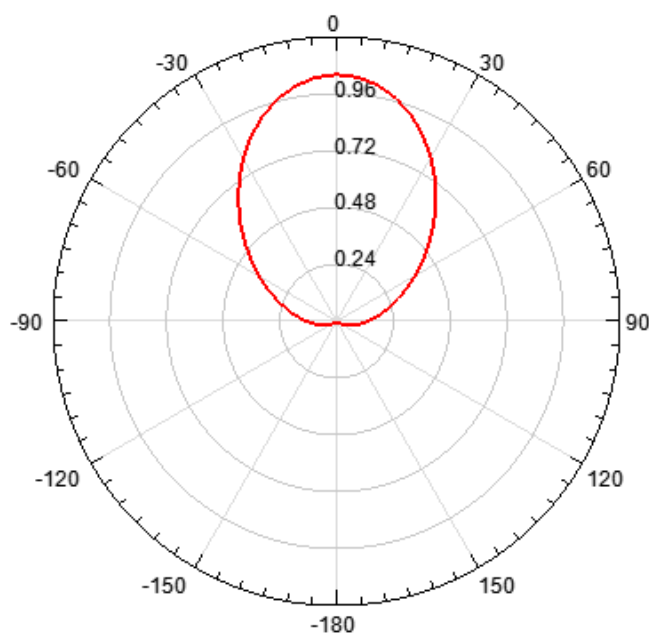
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26: Diagrama de radiação 2D da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

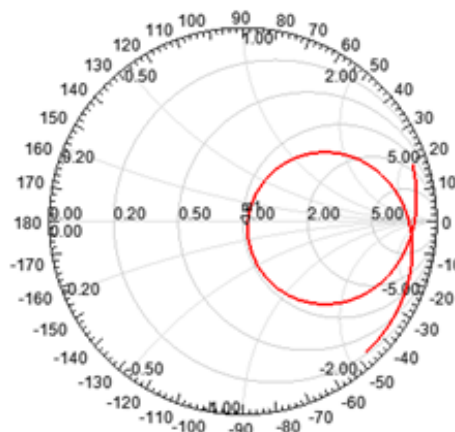
Figura 27: Diagrama do ganho da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28: Carta de Smith (impedância) da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.

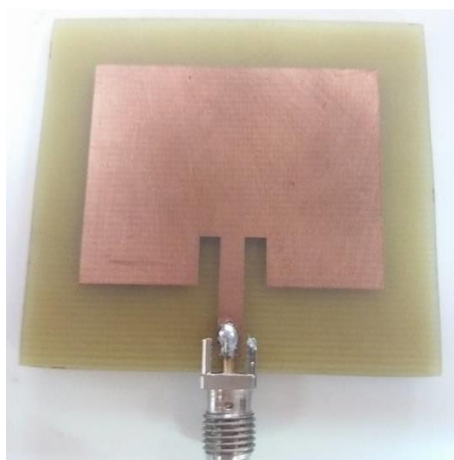
Name	Freq	Ang	Mag	RX
m1	2.4400	-23.2013	0.0265	1.0498 - 0.0220i



Fonte: Elaborado pelo autor

Após as simulações concluídas, partimos para a parte de construção, como mostrado na Figura 29.

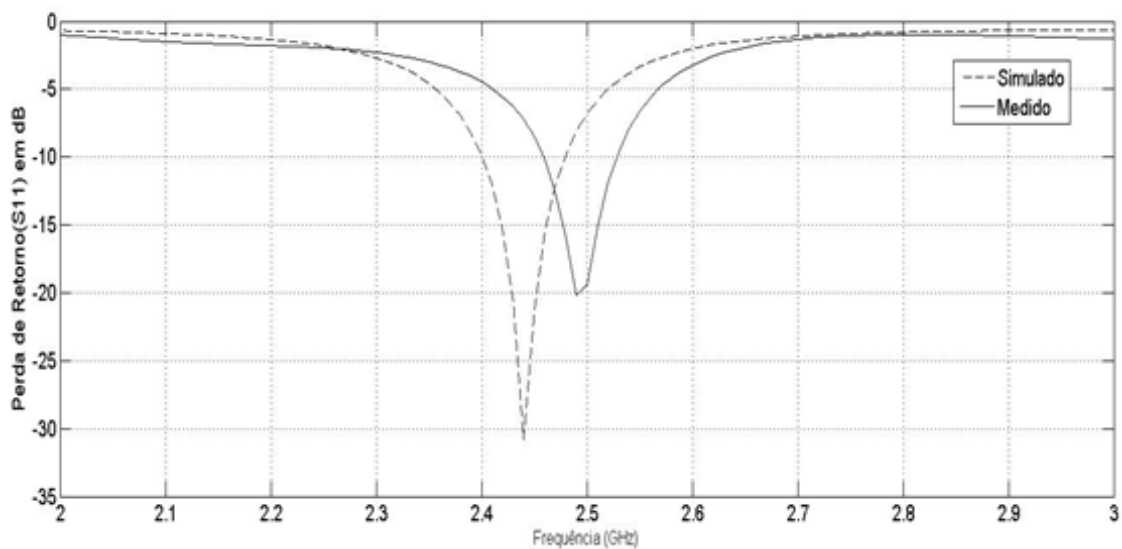
Figura 29: Antena microfita com alimentação por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Após concluídas as etapas acima com a antena, foram feitas as medições, conforme mostra a Figura 30. Nessa, verifica-se uma boa concordância da perda de retorno da antena entre os resultados simulados e medidos.

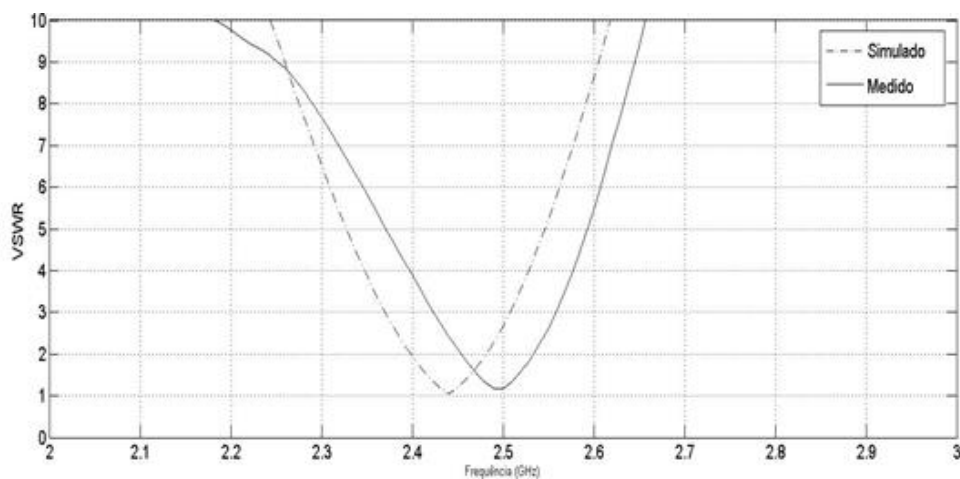
Figura 30: Medição da antena alimentada por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Já a Figura 31 apresenta os resultados do VSWR. Verifica-se que o VSWR ficou abaixo de 2, na frequência de ressonância da antena.

Figura 31: Medição do VSWR da antena alimentada por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 5 são apresentados os resultados simulados e medidos.

Tabela 5: Resposta da antena por cabo coaxial, com substrato de fibra de vidro

	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (em GHz)	2,40	2,44
Perda de retorno (em dB)	-31	-25
Potência radiada (%)	99,99	99,68

4.3.1 - Utilizando alimentação por cabo coaxial

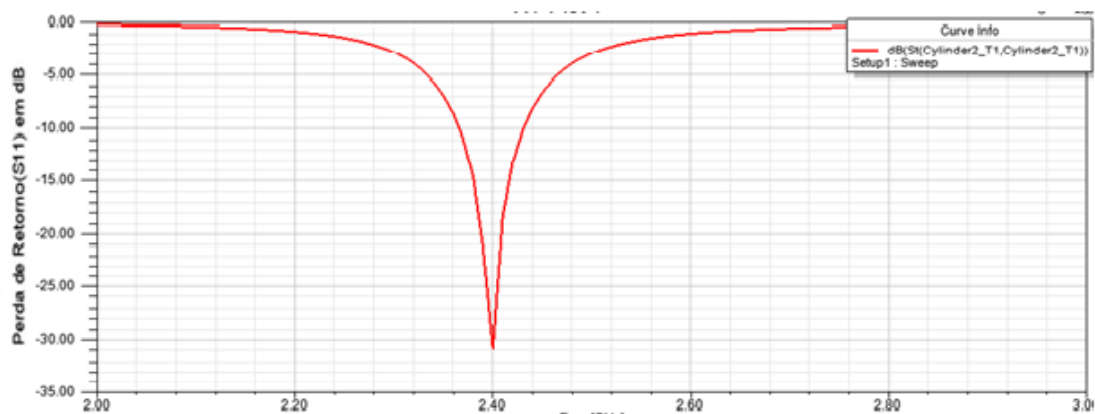
Para a implementação da antena, utilizamos os valores respectivos para W e L , como é mostrado na tabela 6:

Tabela 6: Características da antena por cabo coaxial, com substrato de fibra de vidro

Parâmetros	Valores
W	37,23mm
L	38,85mm

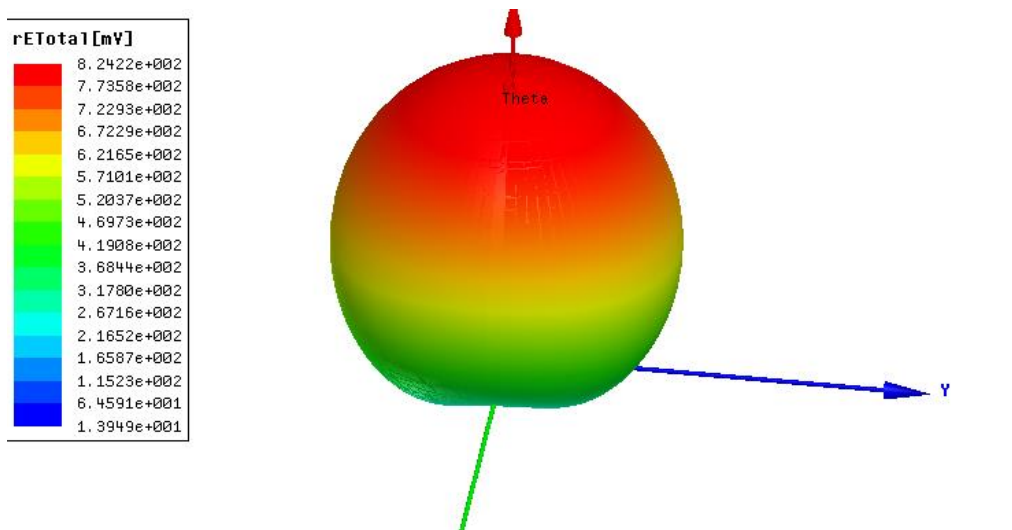
As Figuras 32, 33, 34, 35 e 36 mostram as medições da antena construída.

Figura 32: Simulação da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.



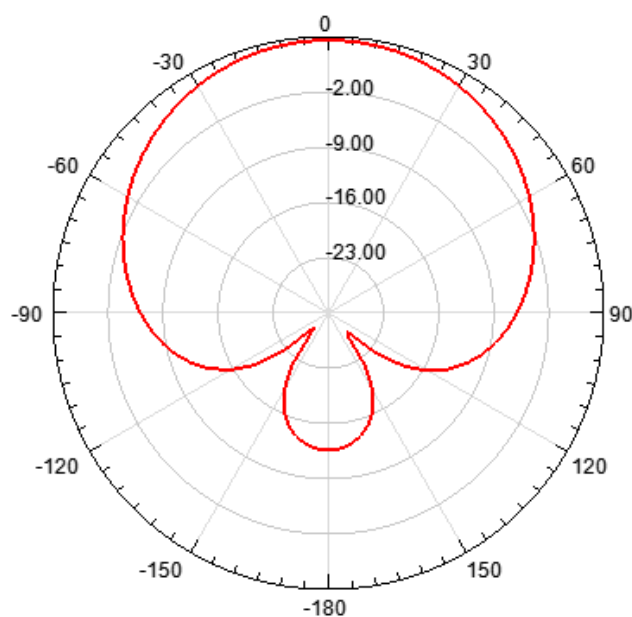
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33: Diagrama de Radiação 3D, da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.



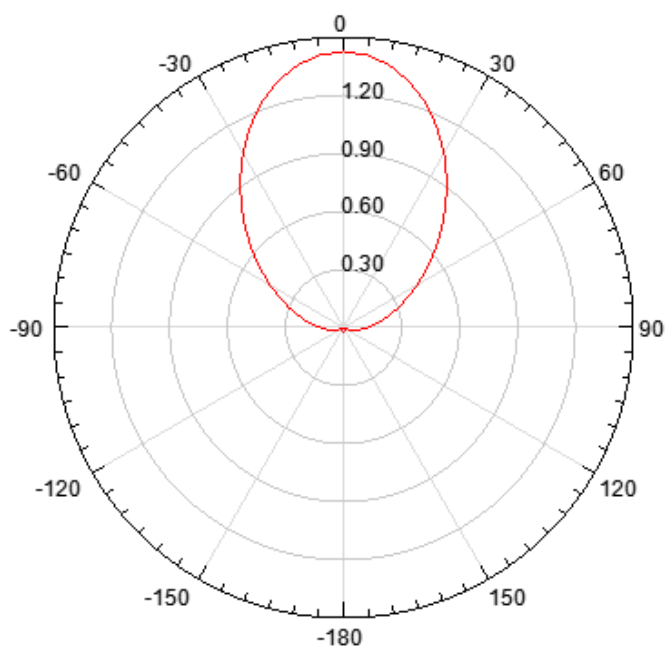
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34: Diagrama de Radiação 2D, da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

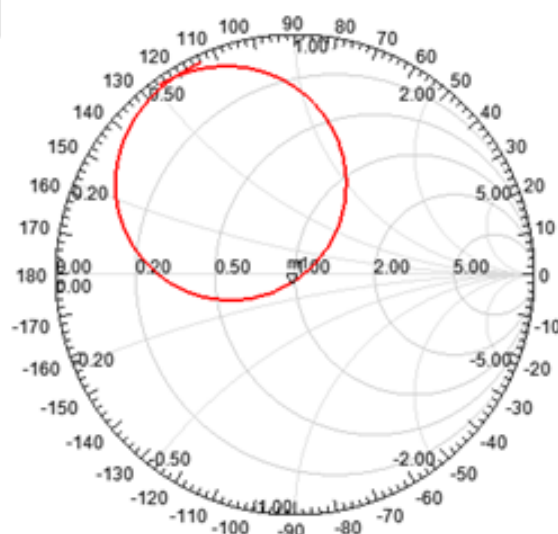
Figura 35: Diagrama do ganho da antena de microfita por cabo coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36: Carta de Smith (impedância) da antena de microfita por linha de transmissão, utilizando substrato de fibra de vidro.

Name	Freq	Ang	Mag	RX
m1	2.4000	-95.3179	0.0285	0.9931 - 0.0565i



Fonte: Elaborado pelo autor

Terminada essa fase de simulações, foi construída a antena, como ilustrado na Figura 37.

Figura 37 - Antena microfita, utilizando substrato de fibra de vidro, com alimentação por cabo coaxial (a) parte superior e (b) Parte inferior.



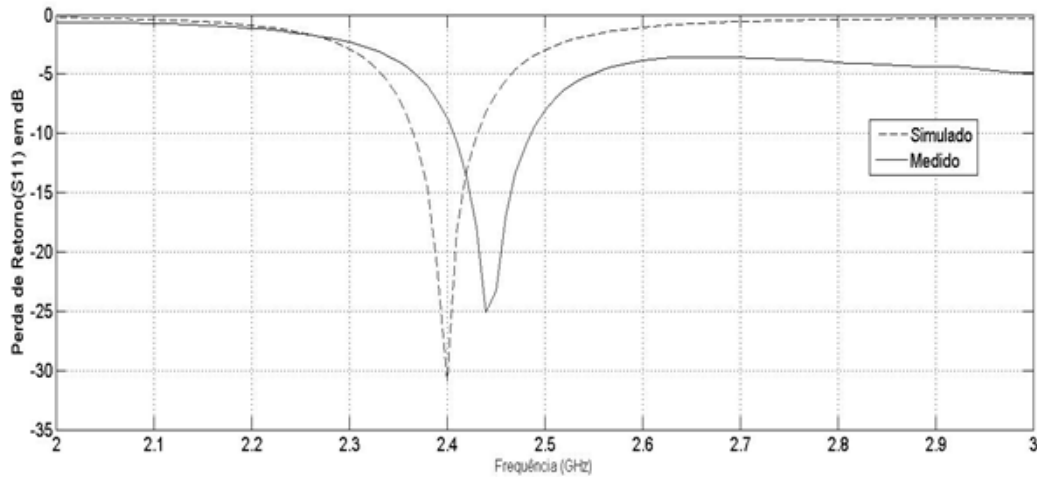
(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 38 ilustra a medição da antena construída.

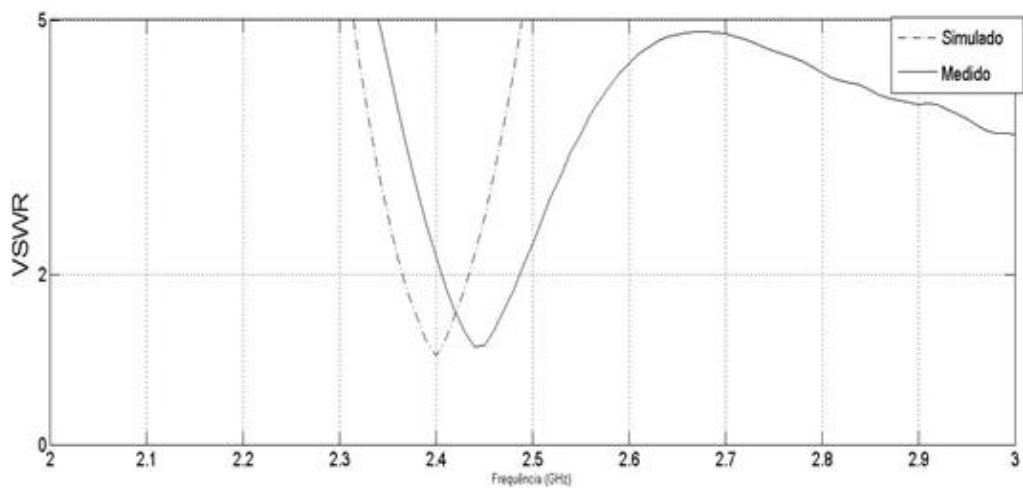
Figura 38: Medição da antena alimentada por cabo coaxial.



Fonte: Elaborado pelo autor

Já o resultado do VSWR é mostrado na Figura 39. Observa-se que tanto na antena alimentada por linha de transmissão quanto na por cabo coaxial utilizando substrato de fibra de vidro o VSWR ficou abaixo de 2, na frequência de ressonância da antena.

Figura 39: Medição do VSWR da antena alimentada por coaxial, utilizando substrato de fibra de vidro.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 7 são apresentados os resultados simulados e medidos.

Tabela 7: Resposta da antena por linha de transmissão, com substrato de fibra de vidro

	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (em GHz)	2,44	2,48
Perda de retorno (em dB)	-31	-20
Potência radiada (%)	99,99	99

Após analisar os resultados das antenas com dielétrico de fibra de vidro, constatamos uma ótima concordância entre os valores simulados e medidos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise, projeto e construções de várias de antenas do tipo microfita. Com o objetivo de demonstrar a eficácia dos projetos propostos, foram obtidos resultados de simulações e experimentais.

As duas primeiras antenas construídas com material dielétrico de fenolite apresentaram simulações satisfatórias. Porém, ao medirmos tais antenas em um analisador de redes, foram mostrados resultados abaixo dos esperados levando em consideração as simulações. Essas antenas ressoaram no ponto desejado, num intervalo entre 2,40 até 2,48 GHz, significando uma boa aplicabilidade para redes Wi-fi. No entanto, a perda de retorno dessas antenas ficou abaixo do esperado e sua potência radiada ficou entorno de 90%.

Já as antenas com o dielétrico de fibra de vidro, apresentaram resultados satisfatórios tanto nas simulações quanto nas medições realizadas. A frequência de ressonância ficou na faixa desejada, com uma largura de banda acima de 60MHz, ou seja, sua faixa de trabalho abrange quase toda a zona de Wi-Fi. Além disso, seu VSWR ficou abaixo de 2 (dois), mostrando ser uma antena com uma boa qualidade de radiação, com 99% da potência recebida sendo transmitida.

Para a equipe, foi um trabalho de muito gratificante, pois foi alcançado uma das metas da construção de antenas de modo artesanal, simples e confeccionadas com materiais de fácil aquisição.

Como perspectivas para projetos futuros, recomenda-se projetar outros tipos de antenas em microfita. Além disso, realizar um estudo sobre os arranjos de antenas de microfita.

6. REFERÊNCIAS

- E.E. C. Oliveira, **Antenas de microfita com Patch quase-fractal para aplicações em redes WPAN/WLAN**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- J. P. M. Rocha, C. J. Mendes, J. S. Lima, J. C. Silva, A. G. Neto, **Projeto de construção de antenas de microfita para sistema móvel e celular**, Revista Principal, número 1, 2012.
- D. C. Lacerd, A. C. S. Junior, **Projeto de construção de antenas de microfita para sistema móvel e celular**, Universidade de Brasília, 2008.
- K. H. Ching, K. W. Tam, **Microstrip Monopole Antenna With Enhanced Bandwidth Using Defected Ground Structure**, IEEE, volume 7, 2008.
- C. R. White, **A Differential Dual-Polarized Cavity-Backed Microstrip Patch Antenna With Independent Frequency Tuning**, IEEE, Volume 58, 2010.
- C. K. Lin, S. J. Chung, **A Filtering Microstrip Antenna Array**, IEEE, Volume 59, 2011.
- S. J. Ha, C. W. Jung, **Reconfigurable Beam Steering Using a Microstrip Patch Antenna With a U-Slot for Wearable Fabric Applications**, IEEE, Volume 10, 2011.
- Z. Tong, A. Stelzer, W. Menzel, **Improved Expressions for Calculating the Impedance of Differential Feed Rectangular Microstrip Patch Antennas**, IEEE, Vol. 22, 2012.
- S. Karimkashi, G. Zhang, **A Dual-Polarized Series-Fed Microstrip Antenna Array With Very High Polarization Purity for Weather Measurements**, IEEE, Vol. 61, No 10, 2013.
- A. S. Al-Zayed, M. A. Kourah, S. F. Mahmoud, **Frequency-reconfigurable single- and dual-band designs of a multi-mode microstrip antenna**, Published in IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2014.

S. Pendharker, R. K. Shevgaonkar, S. Member, **Optically Controlled Frequency Reconfigurable Microstrip Antenna With Low Photoconductivity**, IEEE, Vol. 13, 2014.

M. Samsuzzaman, M. T. Islam, **A semicircular shaped super wideband patch antenna with high bandwidth dimension ratio**, IEEE, Vol. 57, No. 2, 2015.

M. Grilo, F. S. Correra, **Rectangular Patch Antenna on Textile Substrate Fed by Proximity Coupling**, Journal of Microwaves, Vol. 14, 2015.

S.S.Kashyap, **Compact Microstrip Patch Antennas for Terahertz Applications**, IEEE, 2015.

M. R. Ramli, S. K. A. Rahim, H. A. Rahman, M. I. Sabran, M. L. Samingan, **Flexible microstrip grid array polymer-conductive rubber antenna for 5G mobile communication applications**, Microw Opt Technol Lett, 2017.

C. A. Balanis, **Antenna theory: analysis and design**. Canada, Wiley-Interscience, 2005.