



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
DE COMPUTAÇÃO



Estudo da atenuação da onda eletromagnética em meios aquosos utilizando técnicas de microondas

André Soffiatti

Orientador: Prof. Dr. Sandro Gonçalves da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da UFRN (área de concentração: Telecomunicações) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e Computação.

Número de ordem do PPgEE:409
Natal – RN Janeiro de 2014

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Setorial de
Arquitetura

Soffiatti, André.

Estudo da atenuação da onda eletromagnética em meios aquosos
utilizando técnicas de microondas. / André Soffiatti. – Natal, RN, 2014.
50f. : il.

Orientador: Sandro Gonçalves da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do
Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica e
Computação.

1. Antena de microfita – Dissertação. 2. Multicamadas elétricas –
Dissertação. 3. Acoplamento eletromagnético – Dissertação. I. Silva,
Sandro Gonçalves da. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
III. Título.

RN/UF/BSE15

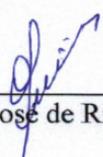
CDU 621.396.67

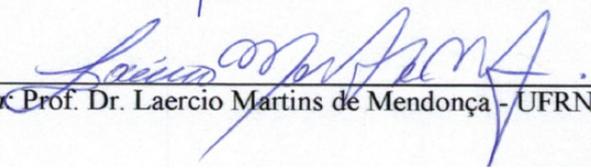
Estudo da atenuação da onda eletromagnética em meios aquosos utilizando técnicas de microondas

André Soffiatti

Dissertação de Mestrado aprovada em Dezembro de 2013 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:


Orientador: Prof. Dr. Sando Gonçalves da Silva - UFRN


Membro externo da banca: Prof. Dr. José de Ribamar Silva Oliveira - IFRN


Membro local da banca: Prof. Dr. Laercio Martins de Mendonça - UFRN

Dedico

A minha esposa Veluzia, que tanto me apoiou e incentivou, aos meus filhos Fabio Luiz e José Luiz que são o tesouro maior da minha vida.

Agradecimentos

“Sou uma pedra bruta, bem o sei, mas não inanimada, pois posso mover-me. Amplia o meu conhecimento, reforça a minha fé e a minha coragem e faz ressoar a minha alegria”.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me permitido a realização deste trabalho, por ter me dado força e esperança durante todos os momentos da minha existência.

Ao Prof. Dr. Sandro Gonçalves da Silva, Professor do Departamento de Comunicações da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, por ter me dado uma oportunidade ímpar e por ter acreditado no meu trabalho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte que contribuíram para minha formação durante este curso.

Ao financiamento fornecido pela bolsa CAPES/REUNI, o qual possibilitou que eu me dedicasse à pesquisa e à escrita dessa dissertação.

“As pessoas são o que acreditam ser e seus olhos veem o que querem ver” Exemplos são para serem seguidos, agradeço às minhas tias Fanny e Neusa e ao meu Pai Fábio (*in memoriam*) e principalmente minha mãe Dora que contribuíram para minha formação e caráter.

Ao meu sogro Carlos José pelo apoio e minha sogra Dália pela sutileza de incentivar-me a ir buscar o que se parecia impossível.

Aos amigos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, em especial ao amigo Leonardo Martins Caetano que tanto me auxiliou e ajudou nessa caminhada e estendendo a todos os demais que fazem parte do programa de iniciação científica do grupo de Metamateriais da UFRN.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal investigar o comportamento da permissividade elétrica de materiais em meios aquosos por meio de método não invasivo. O problema analisado justifica-se na grande quantidade de alimentos que hoje apresentam esta característica de armazenagem, sendo de grande interesse a constante verificação de mudança de estado de conservação destes produtos. Assim, foi proposto um *setup* de medições e usando substâncias químicas conhecidas pode-se estudar o comportamento destes meios aquosos, sendo considerado nesta análise um meio de referência com uma permissividade elétrica conhecida. Este meio de referência é então aos poucos é modificado pela adição de uma das suas componentes e avaliado pela passagem de uma onda eletromagnética.

Palavras-Chave – Antena de Microfita, Multicamadas Elétricas, Acoplamento Eletromagnético.

Abstract

This work aims at investigating the behavior of the electric permittivity of materials in aqueous media via non-invasive method. The problem examined is justified in the large amount of food that now have this feature for storage, being of great interest to constantly check state change of their preservation. Thus, we proposed a set up measurements and using chemicals known one can study the behavior of these aqueous media, being considered in this analysis a means of reference with a known permittivity. The reference medium is then gradually is modified by the addition of its components and evaluated by the passage of an electromagnetic wave.

Keywords – Microstrip Antenna, Multilayer Electrical, Electromagnetic Coupling.

Sumário

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	IV
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2
CAPÍTULO 2 - ANTENAS DE MICROFITA	3
2.1 INTRODUÇÃO	3
2.2 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS DE MICROFITA.....	4
2.3 ANTENA DE MICROFITA COM FORMATO RETANGULAR	5
2.4 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	5
2.4.1 <i>Impedância de Entrada</i>	5
2.4.2 <i>Perda de Retorno</i>	6
2.4.4 <i>Diretividade e Ganho</i>	8
2.4.5 <i>Eficiência</i>	10
2.4.6 <i>Largura de Banda</i>	10
2.4.7 <i>Polarização</i>	11
2.4.8 <i>Largura de Feixe</i>	12
2.5.1 <i>Alimentação por prova coaxial</i>	14
2.5.2 <i>Alimentação por linha de microfita</i>	15
2.5.3 <i>Alimentação por acoplamento eletromagnético por linha de microfita</i>	16
2.6 MÉTODOS DE ANÁLISE	17
2.6.1 <i>Método de Linha de Transmissão</i>	18
2.6.2 <i>Método de Cavidades</i>	19
2.7 OBJETO DE ESTUDO.....	22
CAPÍTULO 3 – SUBSTÂNCIAS AQUOSAS	23
CAPÍTULO 4 - MODELAGEM MATEMÁTICA	27
CAPÍTULO 5 - PROJETO DA ANTENA	28
CAPÍTULO 6 - EXPERIMENTO	40
CAPÍTULO 7 - RESULTADOS	43
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Antena de Microfita com <i>patch</i> retangular excitada por linha de Microfita.....	16
Figura 2.2: Padrões de irradiação 3D e 2D gerados pelo MStrip40.....	20
Figura 2.3: Medição da largura de banda através do gráfico do módulo do coeficiente de reflexão.....	23
Figura 2.4: Representação de uma onda linearmente (verticalmente) polarizada.....	24
Figura 2.5: Largura de Feixe de 3dB.....	25
Figura 2.6: Antena de microfita com formato retangular alimentada por prova coaxial...26	
Figura 2.7: Antena retangular sendo alimentada na extremidade por uma linha de microfita.....	27
Figura 2.8: Antena retangular sendo alimentada por uma linha de microfita via “inset-feed”	28
Figura 2.9: Antena retangular alimentada através de acoplamento eletromagnético.....	28
Figura 2.10: Visões do elemento irradiador. (a) Visão Superior mostrando os campos de franja (ΔL).....	31
Figura 2.11: Visões do elemento irradiador (b) Visão Lateral apresentando as correntes no substrato.....	31
Fig. 2.12: Modelo da parede magnética de uma antena de microfita.....	32
Figura 2.13: Distribuição de corrente e densidade de corrente criada no elemento irradiador [Balanis, 1997]	33
Figura 3.1: Célula básica da estrutura de um cristal de sal (NaCl).	36
Figura 3.2: Célula básica da estrutura vinagre C ₂ H ₄ O ₂)	37
Figura 5.1: Geometria da Antena de Microfita.....	40
Figura 5.2: Gráfico da perda de retorno.....	41
Figura 6.1: Antena de Microfita.....	42
Figura 6.2: Setup e Medição.....	42

Figura 6.3: Setup de Medição.....	43
Figura 7.1: Diagrama de Radiação.....	45
Figura 7.2: Diagrama de Radiação	45

Lista de Símbolos e Abreviaturas

T	Temperatura
T_c	Temperatura crítica
\vec{H}_c	Campo magnético crítico
e	Carga do elétron
m	Massa da partícula
n	Quantidade de partículas
v	Velocidade de arrastamento da partícula
c	Velocidade da luz
σ	Condutividade
σ_n	Condutividade normal
σ_s	Condutividade do supercondutor
λ_l	Profundidade de penetração de <i>London</i>
λ_{ef}	Profundidade de penetração efetiva
δ	Profundidade pelicular
j	Número imaginário unitário, $j = (-1)^{1/2}$
μ_i	Permeabilidade na i-ésima região, $\mu_i = \mu_0 \mu_{ri}$
μ_0	Permeabilidade no espaço livre
μ_{ri}	Permeabilidade relativa na i-ésima região
ϵ_i	Permissividade na i-ésima região, $\epsilon_i = \epsilon_0 \epsilon_{ri}$
ϵ_0	Permissividade no espaço livre
ϵ_{ri}	Permissividade relativa na i-ésima região
Z_s	Impedância de superfície
I	Corrente elétrica
\vec{J}	Vetor densidade de corrente
\vec{J}_T	Vetor densidade tangencial de corrente
FA	Fator de arranjo
λ	Comprimento de onda, $\lambda = c \cdot f$
N, M	Número de elementos do arranjo nas direções Y e X
d_y, d_x	Distância entre os elementos de um arranjo nas direções Y e X
β	Fase progressiva; Constante de fase
θ	Ângulo de elevação
ϕ	Ângulo de azimute
x	Vetor unitário na direção x
y	Vetor unitário na direção y
z	Vetor unitário na direção z
\vec{E}	Vetor campo elétrico
\vec{E}_T	Vetor campo elétrico tangencial
\vec{H}	Vetor campo magnético
\vec{H}_T	Vetor campo magnético tangencial

\vec{B}	Vetor densidade campo magnético
ω	Frequência angular
∇	Operador nabla
∇_t	Componente tangencial do operador nabla
γ	Constante de propagação na direção y
k_i	Número de onda da i-ésima região, $K_i^2 = \omega^2 \mu_i \epsilon_i$
W	Largura da fita
L	Comprimento da fita
t_i	Espessura da i-ésima fita
h_i	Altura da i-ésima camada da Microfita
Y	Matriz admitancia
Z	Matriz impedância
F	Frequência; função de base
K	Matriz característica

Capítulo 1 - Introdução

A razão para este trabalho baseia-se na verificação, classificação e controle da produção de substâncias líquidas a serem embalados (pré-testado) para o consumo humano.

Este tipo de teste é essencial para uma avaliação final antes do envasamento dessas substâncias e, assim, acumular o controle da qualidade do produto.

Na indústria precisa-se constantemente de dispositivos para auxiliar no controle de qualidade de processos e produtos, principalmente ao que se refere a indústria alimentícia. Projetar um sensor se faz necessário tanto do ponto de vista técnico como comercial objetivando caracterizar alterações químicas através de um método não usual de forma física e mostrar essa classificação. Com o desígnio de investigar a possibilidade do uso de ondas eletromagnéticas para classificar esses que são em sua maioria métodos químicos em meios de propagação com alta permissividade.

A arquitetura da antena de microfita foi escolhida, pois são especialmente atraentes devido ao seu custo baixo, e de fácil integração com outros elementos do circuito. Em geral, elas consistem de um elemento de radiação metálico, que podem ser alimentadas por várias maneiras. A linha de microfita escolhida é uma das opções, essa configuração é amplamente utilizada em microondas. O patch pode ter várias configurações geométricas, na maioria dos casos, as cargas têm impedância de entrada de 75Ω ou 50Ω . O projeto de antenas de microfita pode ser realizado utilizando variadas formas geométricas. Uma antena patch de microfita típica tem entre 5 dB e 6 dB de ganho e entre 70° e 90° de largura de feixe de -3 dB.

O padrão de radiação está relacionado com a directividade da antena, em que um delas está interessado ver o efeito sobre a incidência da onda com a frequência gerada pelo outro na solução aquosa. Após a reflexão, essa onda vai se concentrar na antena Recepção. Observando-se, assim, os parâmetros de dispersão S11 e S21.

1.1 Organização do texto

Este trabalho encontra-se distribuído em 8 capítulos, buscando-se evidenciar o referencial teórico e bibliográfico para o estudo das estruturas investigadas. Em seguida, apresenta-se uma análise dos resultados obtidos por meio de tabelas e das caracterizações das substâncias analisadas utilizando para isso o projeto da antena proposto.

O capítulo 2 apresenta um estudo bibliográfico a respeito da teoria de antenas de microfita, situando o contexto histórico de evolução, evidenciando suas características, vantagens e desvantagens além de técnicas de alimentação e métodos de análise.

O capítulo 3 faz referência a um estudos das substâncias aquosas utilizadas, sua forma, características principais, métodos, bem como sua história no contexto apresentado.

O Capítulo 4 trata da modelagem matemática, As equações utilizadas para determinar as dimensões da antena.

O capítulo 5 apresenta o projeto da antena, suas características e dimensões projetada no software.

O Capítulo 6 refere-se ao experimento, os resultados computacionais obtidos através de medições em um analisador de redes dos diversos parâmetros de antenas e não menos importante o setup de medição utilizado para tal processo.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados referente a cada tipo de solução aquosa analisada e a comparação de cada tipo de solução.

O Capítulo 8 apresenta a conclusão deste trabalho.

Capítulo 2 - Antenas de Microfita

2.1 Introdução

Atualmente, é comum ouvir falar em sistemas de comunicações sem fio, sistemas banda larga, comunicações ópticas, dentre outros termos que até algum tempo, não se sabia seu significado nem suas inúmeras aplicações. Com o avanço da eletrônica digital, têm surgido dispositivos eletrônicos cada vez menores, como por exemplo, os equipamentos de telefonia móvel. Ao mesmo tempo, a engenharia de telecomunicações tem procurado acompanhar essa evolução com projeto de sistemas radiantes igualmente reduzidos. Um bom exemplo dessa evolução de sistemas radiantes são as chamadas antenas de microfita. As primeiras ideias sobre antenas de microfita datam de 1955, mas foi a partir da década de 70 que os primeiros protótipos começaram a ser fabricados e utilizados. [1]-[10]

Com a unificação da teoria da eletricidade e do eletromagnetismo a história das antenas de microfita se desenvolveu. O responsável por tal desenvolvimento chamado James Clerk Maxwell representado por um legado que se denomina Equações de *Maxwell*. Heinrich Rudolph Hertz que por volta do ano de 1886 obteve êxito em demonstrar o primeiro sistema de comunicação sem fio que teve como finalidade auxiliar no estudo e desenvolvimento da teoria eletromagnética, que anos mais tarde foram enviados sinais eletromagnéticos a longas distância, por Guglielmo Marconi.

Antenas podem ser definidas como um dispositivo que transforma energia eletromagnética guiada pela linha de transmissão em energia eletromagnética irradiada, ou o contrário, isso é transforma energia eletromagnética irradiada em energia eletromagnética guiada para a linha de transmissão. Portanto, a função da antena é primordial em qualquer comunicação realizada por radiofrequência. A relação entre as potências de emissão e recepção é proporcional e obedece a Formula de Friss. [10]-[15]

2.2 Características das Antenas de Microfita

Antenas de Microfita receberam considerável atenção a partir da década de 1970, embora a idéia de uma antena de microfita possa ser rastreada a 1953[1] e a uma patente de 1955. Antenas de microfita consistem em uma fita (plaqueta) metálica de pequena espessura ($t \ll \lambda_0$, onde λ_0 é o comprimento de onda no espaço livre) posicionada a uma distância correspondente a uma pequena fração do comprimento de onda ($h \ll \lambda_0$, usualmente $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$) acima de um plano de terra. A plaqueta de microfita é projetada de modo que seu diagrama seja máximo normal a ela (radiador *broadside*). Isto é alcançado com uma escolha adequada de excitação sobre a plaqueta, no caso da plaqueta retangular escolhida, seu comprimento L é tal que $\frac{\lambda_0}{3} < L < \frac{\lambda_0}{2}$ e o plano de terra são separados por uma camada dielétrica referida como substrato.[1]-[5]

Diferentes materiais podem ser usados como substrato no projeto de antena de microfita. Em geral, a constante dielétrica desses materiais tem valores de $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Os substratos mais adequados para antenas de bom desempenho são espessos e tem constante dielétrica de valor baixo, pois permitem maior eficiência, maior largura de banda e campos mais desprendidos, facilitando a radiação no espaço. Mas essas propriedades tem o custo de elementos de maiores dimensões. Substratos delgados com altos valores de constante dielétrica são desejáveis para circuitos de microondas, que existem campos mais confinados, para minimizar radiação e acoplamentos indesejáveis, e elementos de pequenas dimensões; entretanto, devido às maiores perdas esses substratos são menos eficientes e resultam em largura de banda relativamente menores. Como antenas de microfita são geralmente integradas com outros circuitos de microondas, um equilíbrio deve ser encontrado entre o bom desempenho da antena e um bom projeto do circuito. [1]-[3]

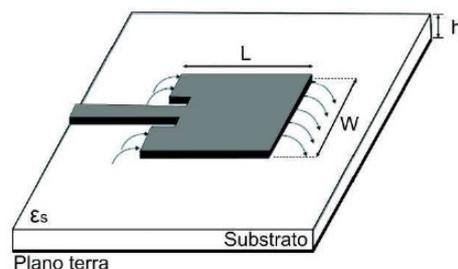


Figura 2.1 – Antena de Microfita com *patch* retangular excitada por linha de Microfita.

2.3 Antena de Microfita com formato Retangular

A figura 2.1 apresenta a forma mais comum das antenas de microfita: um elemento irradiador retangular sendo alimentado por uma linha de microfita. Neste trabalho, assim como na figura 2.1, será adotado W como sendo o lado não ressonante, ou seja, a largura do elemento irradiador; L representa o comprimento, ou seja, o lado ressonante.

Na seção seguinte, os principais critérios relacionados ao desempenho de uma antena são descritos de forma breve. Essas definições fazem-se necessárias para que haja uma maior compreensão sobre os parâmetros que podem participar da otimização durante o processo de síntese e na análise dos resultados obtidos.

2.4 Critérios de Desempenho

Um critério de desempenho vai estar sempre associado a alguma característica mensurável de um fenômeno físico, dispositivo, ou sistema, especialmente aquelas relacionadas ao desempenho ou qualidade do mesmo [Blake, 1984].

2.4.1 Impedância de Entrada

A impedância de entrada é medida de acordo com alguma linha de transmissão ou impedância característica do dispositivo. Quando a impedância da linha de alimentação e do elemento irradiador é diferente, parte da onda é refletida de volta no gerador ou fonte, gerando uma onda estacionária ao longo da linha de transmissão e acarretando perda de retorno na antena. As impedâncias e, conseqüentemente, o casamento (impedâncias da linha de transmissão e do elemento irradiadores iguais), variam de acordo com a frequência de operação da antena. [1]-[5]

A impedância da antena pode ser descrita como,

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$$

sendo Z_{in} a impedância de entrada, ou nos terminais da antena; R_{in} a resistência; e X_{in} é a reatância. A parte imaginária da impedância de entrada representa a potência

armazenada no campo próximo (*near field*) da antena. A parte resistiva da impedância de entrada consiste de dois componentes: a resistência de irradiação (R_r) e a resistência de perdas (R_L). A potência associada com a resistência de irradiação é a potência irradiada pela antena, enquanto a potência dissipada na resistência de perda é transformada em aquecimento na antena, devido a perdas condutivas ou dielétricas.

Valores de resistência de irradiação típicos na borda de um elemento irradiador retangular vão de 100 a 400 ohms. Uma equação aproximada para a impedância de entrada [Stutzman & Thiele, 1998], em função da largura (W) e comprimento (L) do elemento irradiador alimentado na borda, é

$$Z = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)$$

2.4.2 Perda de Retorno

Um indicador muito utilizado para verificar o casamento de impedância entre a linha de transmissão e o elemento irradiador é o coeficiente de onda estacionária *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*) apresentado na equação 2.5. Caso o elemento irradiador não esteja com a mesma impedância que a linha de transmissão, a potência entregue pela linha não será totalmente absorvida e o restante de potência rejeitada ficará sendo refletida entre o elemento irradiador e o transmissor, gerando assim uma onda estacionária na linha. Um critério usualmente adotado é o valor de $VSWR \leq 2$, caracterizando a largura de banda e garantindo que pelo menos 90% da potência de entrada seja irradiada [Balanis, 1997].

$$VSWR = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

sendo ρ a magnitude do coeficiente de reflexão.

É comum definir a banda passante da perda de retorno como sendo a faixa de frequências em torno da frequência de operação na qual a perda de retorno é aproximadamente igual a 10 (dB), que ocorre para o módulo do coeficiente de reflexão aproximadamente igual a um terço.

Com o parâmetro de perda de retorno (RL), é possível também medir o casamento de impedâncias. Esse parâmetro é em função de $VSWR$ e é dado em decibéis (dB). Ele é proporcional à razão entre a potência refletida da antena com a que realmente é entregue à antena pela linha de transmissão, sendo definido matematicamente como [Balanis, 1997]:

$$R_L(dB) = 20 \log \left(\frac{VSWR+1}{VSWR-1} \right),$$

Ou em função do módulo do coeficiente de reflexão ($|\Gamma_{in}|$),

$$R_L(dB) = -20 \log |\Gamma_{in}|,$$

sendo Z_c a impedância da linha de alimentação do elemento irradiador.

Para certas análises, será empregado o gráfico da perda de retorno juntamente com o valor de $VSWR$. Com isso, é possível determinar a frequência que possui menor valor de perda de retorno, chamada de frequência de ressonância.

2.4.3 Diagrama de Irradiação

O diagrama de irradiação de uma antena é de extrema importância para determinar a maioria das características de irradiação, tais como: tamanho e formato do feixe principal, nível de lóbulos secundários, diretividade, ganho, polarização, razão frente-costas e potência de irradiação. Os padrões de irradiação têm formato tridimensional, mas na maioria dos casos, devido à dificuldade em reproduzi-los através de medição, são geralmente apresentados em formato bidimensional, na forma polar.

O sistema de coordenadas mais apropriado é o sistema de coordenadas esféricas (r, θ, ϕ), que permite que o diagrama de irradiação seja expresso em termos da intensidade do campo elétrico. Dado que a antena está no centro desse sistema de coordenadas, é possível definir o padrão de irradiação como sendo a intensidade do campo elétrico (E) sobre a superfície de uma esfera a uma distância r fixa. Pelo fato do campo E ser em função de duas variáveis θ e ϕ , a notação empregada é $E(\theta, \phi)$.

Em duas dimensões, o padrão de irradiação é formado por dois planos perpendiculares, com a origem do sistema de coordenadas esféricas na linha de intersecção. A direção de $\phi = 0^\circ$ segue a linha de intersecção enquanto que $\theta = 0^\circ$ é perpendicular a essa linha e pertence ao outro plano. O padrão de irradiação de uma antena de microfita nos formatos tridimensional e bidimensional (polar) estão ilustrados na figura 2.3 onde, o plano de terra infinito é assumido. Como pode ser observado na figura, o padrão produzido teoricamente pelas antenas de microfita é omnidirecional, não possuindo.

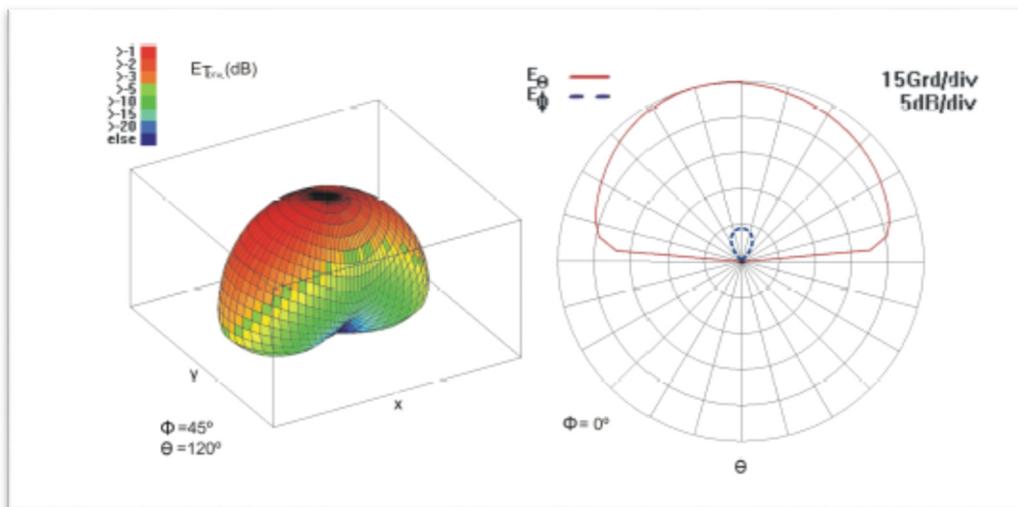


Fig. 2.2: Padrões de irradiação 3D e 2D gerados pelo MStrip40.

Lóbulos secundários ou um lóbulo principal direcional.

2.4.4 Diretividade e Ganho

Diretividade e ganho de uma antena são geralmente determinados em comparação com uma antena isotrópica. Uma antena isotrópica é aquela que irradia uniformemente em todas as direções do espaço, ou seja, a intensidade do campo elétrico sobre a esfera imaginária seria igual em todos os pontos. Esse conceito de antena isotrópica é mais utilizado para propósitos teóricos, uma vez que é impossível alcançar um padrão perfeitamente hemisférico nas três dimensões do espaço [Blake, 1984].

Diretividade é definida como a razão entre a intensidade de máxima irradiação na direção do feixe principal (U_{max}) e a intensidade de irradiação média em todas as direções ($U_{média}$) [Garg et al., 2001].

A intensidade de irradiação média é igual à potência irradiada (P_{rad}) pela antena dividida por 4π . Com isso, a diretividade é dada por [Balanis, 1997]:

$$D = \frac{U_{max}}{U_{média}} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}}$$

A diretividade pode indicar a largura do feixe (3dB “beamwidth”) irradiado pela antena: quanto maior a diretividade menor a largura do feixe. Esse parâmetro dá uma ideia quantitativa da eficácia de uma antena em concentrar energia em uma dada direção, não levando em consideração a perda própria da antena.

Sobre o ganho, é possível observar na literatura dois tipos: o ganho (G) propriamente dito e o chamado *ganho diretivo* (G_d). O ganho (G) é dado como sendo a razão entre a intensidade de máxima irradiação no pico do feixe principal e a intensidade de irradiação na mesma direção que seria produzida por uma antena isotrópica tendo a mesma potência de entrada [Wolf, 1967]. Por outro lado, o ganho diretivo leva em consideração a diretividade e a eficiência de irradiação da antena, sendo definido como:

$$G_d = \eta D,$$

onde η , que será definido na seção seguinte, é a eficiência de irradiação da antena, contida entre os valores 0 e 1. Diretividade e ganho diretivo diferem somente pela eficiência, mas a diretividade é facilmente estimada através do padrão de irradiação, diferentemente do ganho, que precisa ser medido [Milligan, 1985]. Nos experimentos apresentados no capítulo 4, utilizam-se diretividade e ganho diretivo, fazendo a distinção quando necessário.

A distinção entre ganho e diretividade não é sempre considerada na prática. A diretividade é baseada na forma da distribuição de potência da fonte e não leva em consideração as perdas da antena. Por outro lado, o ganho leva em consideração as perdas e é a expressão de quanto uma antena é melhor que outra no que diz respeito à transferência de potência para o meio [Diniz & da Silva Lacava, 1986].

2.4.5 Eficiência

A eficiência (η) é medida pela razão entre potência irradiada e potência de entrada ($P_{entrada}$), ou seja, indica quanto de potência é transmitida, dada a potência recebida. Em antenas planares, é observado que esse parâmetro depende, antes de mais nada, da espessura do substrato e da permissividade, e que, não é muito afetado nem pelo formato do elemento irradiador, nem pelo tipo de alimentação [Garg et al., 2001]. Em [Balanis, 1997] são definidas eficiência de irradiação (η_{rad}) e eficiência total (η_{tot}), sendo:

$$\eta_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{entrada}} = \frac{G(\theta, \phi)}{D(\theta, \phi)}$$

$$\eta_{tot} = \frac{P_{rad}}{P_{fonte}}$$

2.4.6 Largura de Banda

Largura de banda é definida como o intervalo de frequências em que o desempenho de uma antena, com relação a alguma característica, atende a um padrão específico [Balanis, 1997]. Ou seja, o intervalo de frequências em que os critérios de desempenho de uma antena (como impedância de entrada, padrão de irradiação, polarização, ganho, etc) estão dentro de um valor aceitável definido *a priori*.

Crítérios adotados para definir largura de banda geralmente são $V_{SWR} \leq 2$, ou seja, módulo do coeficiente de reflexão $|\Gamma| \leq -10$ dB. O valor absoluto da largura de banda (dada em MHz) é descrita como:

$$BW = f_2 - f_1,$$

Ou, em termos percentuais:

$$BW (\%) = 100 \frac{f_2 - f_1}{f_0};$$

onde f_2 e f_1 são, respectivamente, as frequências máxima e mínima de operação que atendem aos critérios especificados e f_0 é a frequência central de operação. Na figura 2.4, a largura de banda alcançada é de 80 MHz, ou seja, aproximadamente 3,11% de banda.

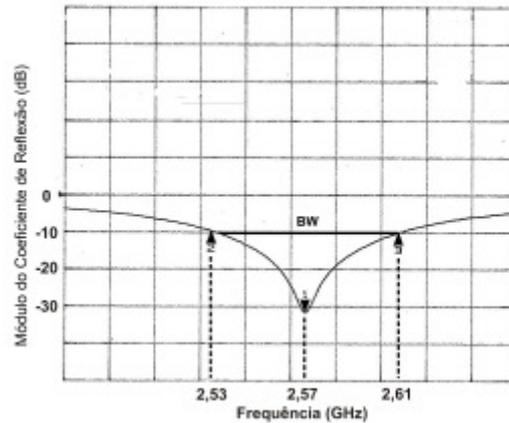


Fig. 2.3: Medição da largura de banda através do gráfico do módulo do coeficiente de reflexão.

2.4.7 Polarização

Em uma onda eletromagnética, a orientação dos vetores campo elétrico e magnético definem, respectivamente, a polarização elétrica e magnética da onda. Existem três tipos de polarização descritos na literatura: linear, circular e elíptica. A polarização da onda transmitida é a propriedade de uma onda eletromagnética que descreve a direção variando no tempo e a magnitude relativa do vetor do campo elétrico [Balanis, 1997].

Na polarização linear, o campo elétrico encontra-se na mesma direção em qualquer instante. A projeção da extremidade do vetor descreve uma reta sobre um plano normal à direção de propagação à medida que a onda se propaga. Dah-se o nome de polarização linear vertical aquela para a qual o campo elétrico é vertical a uma superfície de referência (superfície terrestre), e a polarização linear horizontal, onde o campo elétrico é horizontal à superfície terrestre conforme figura 2.5.

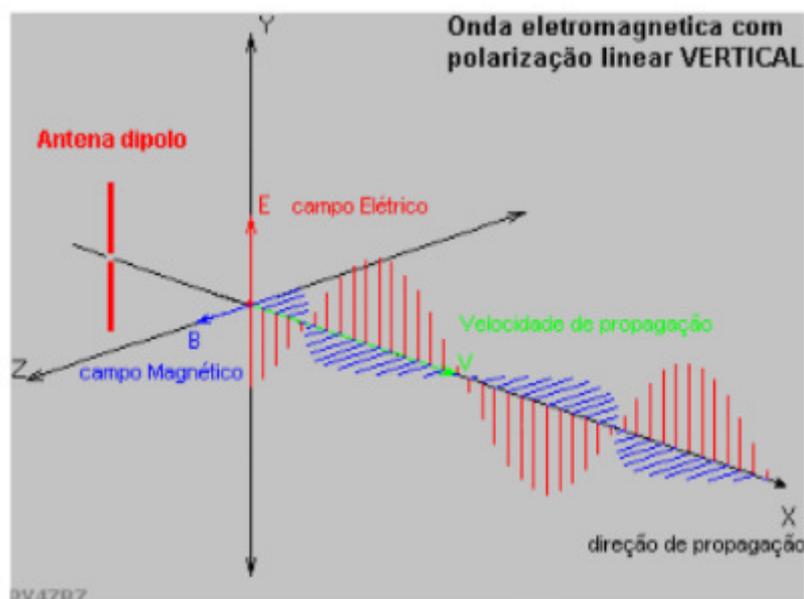


Fig. 2.4: Representação de uma onda linearmente (verticalmente) polarizada.

No caso da polarização elíptica, a projeção da extremidade do vetor campo elétrico descreve uma elipse sobre um plano normal à direção de propagação à medida que a onda se propaga. É o resultado da combinação de duas ondas planas uniformes e de mesma frequência, propagando-se na mesma direção, tendo os campos de fases, de amplitudes e orientação diferentes mas não arbitrários.

Um caso particular da polarização elíptica é a polarização circular. Neste caso, a elipse é reduzida a um círculo, e de acordo com o sentido de rotação do vetor campo elétrico, horária ou anti-horária, podem ser distinguidas entre polarização circular à direita e polarização circular à esquerda, respectivamente.

2.4.8 Largura de Feixe

Se a potência irradiada por uma antena é concentrada em um lóbulo principal, a largura angular (β) entre os pontos de meia potência é a largura de feixe. Na figura 2.6 apresentado uma representação $\frac{1}{2}$ Potência = 0,5 = -3dB

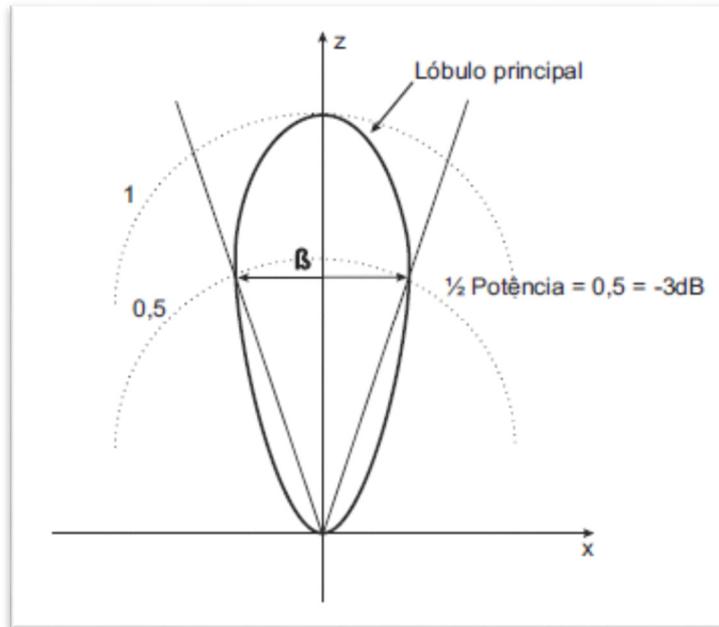


Fig. 2.5: Largura de Feixe de 3dB.

Existe uma relação entre a largura de feixe de uma antena e sua diretividade, quanto mais estreito o feixe, maior sua diretividade e, conseqüentemente, o seu ganho.

2.5 Técnicas de Alimentação

Diversas técnicas podem ser usadas para alimentar antenas de microfita as principais são: Alimentação por linha de microfita, por sonda coaxial, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade. Nos itens abaixo será feito um resumo dos tipos de alimentação.

A linha de alimentação também consiste em uma fita condutora, geralmente com largura muito pequena quando comparada á largura do *patch*. Essa técnica é considerada simples, de fácil fabricação e tem a vantagem de possuir um ótimo casamento de impedância entre a linha e o *patch*. O casamento de impedância entre a linha e o *patch* pode ser controlado com o posicionamento do ponto de inserção da linha. Um bom casamento de impedância para antenas *patches* com reentrâncias (*inset-feed*) pode ser determinado através da variação

Em 1957, *John Bardeen, Leon Cooper e J. Robert Schriffer* propuseram uma teoria microscópica que assume os superelétrons como os portadores de carga do estado

supercondutor. Eles são formados por dois elétrons com spins e movimentos lineares opostos, atraídos pelos fônons (vibrações) da rede. Uma interação atrativa entre elétrons pode ser conduzida a um estado fundamental separado de estados excitados por uma lacuna de energia, que separa os elétrons supercondutores abaixo da lacuna dos elétrons normais. O campo crítico (\vec{H}_c), as propriedades térmicas e muitas outras propriedades eletromagnéticas são consequências dessa lacuna de energia.

Estruturas de antenas de microfita possuem elementos irradiantes sob um lado de um substrato dielétrico e, sendo assim, as primeiras antenas de microfita foram alimentadas por linha de microfita ou por prova coaxial através do plano de terra. Na literatura [Balanis, 1997, Garg et al., 2001], estão descritas várias técnicas de alimentação de uma antena de microfita, sendo que as mais proeminentes são descritas a seguir. Neste trabalho, adotaram-se aquelas com linhas de microfita por: alimentação no final da linha (“end-fed”) e acoplamento eletromagnético. [15]-[20]

2.5.1 Alimentação por prova coaxial

O casamento de impedância através de uma prova coaxial é um dos mecanismos mais tradicionais e populares para alimentação de antenas de microfita. A prova geralmente é um condutor interno de um conector coaxial, que é ligado ao plano de terra de uma placa de circuito impresso e, depois de ter passado pelo substrato, é soldado ao elemento irradiador. A figura 2.7 apresenta esse tipo de alimentação. A posição do ponto de alimentação é determinado para um dado modo e para que o melhor casamento de impedância seja alcançado. [1]-[10]

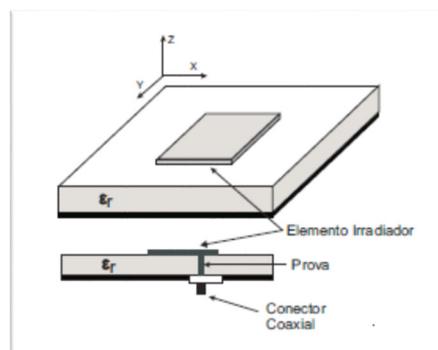


Fig. 2.6: Antena de microfita com formato retangular alimentada por prova coaxial.

Entre as vantagens em se utilizar a prova coaxial, estão a facilidade de construção e redução da área da antena, uma vez que a alimentação fica oculta. A principal desvantagem é o surgimento de indutâncias produzidas pela prova coaxial, o que dificulta o casamento de impedância da antena e reduz a largura de banda. Essa indutância é maior em substratos mais grossos, pois a prova coaxial precisa ter um comprimento maior para atravessar o substrato.

2.5.2 Alimentação por linha de microfita

O método mais simples para alimentar uma antena de microfita é conectar uma linha de microfita à extremidade do elemento irradiador, com ambos os elementos localizados no mesmo substrato conforme Figura 2.8. Esse tipo de alimentação foi o primeiro utilizado em aplicações práticas [Munson, 1974].

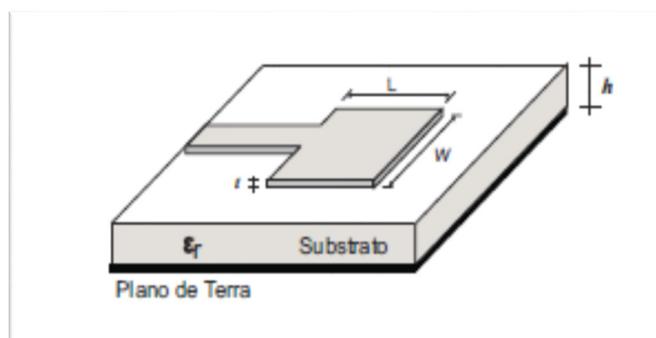


Fig. 2.7: Antena retangular sendo alimentada na extremidade por uma linha de microfita.

Frente à necessidade de antenas com dimensões reduzidas, a utilização dessa técnica de alimentação pode ser prejudicada, pois a superfície da antena aumenta devido às dimensões da linha de alimentação. Como apresentado na seção 2.3.1, devido à alta impedância na extremidade do elemento irradiador, alcançar o casamento de impedância entre a linha de alimentação e o elemento irradiador não é trivial. Para tentar reduzir o custo dessa tarefa, variações desse método são utilizadas, tais como a implementação de um circuito casador externo com transformador $\lambda/4$ ou o método “inset-feed”. No segundo, a linha de microfita penetra no elemento irradiador, como apresentado na figura 2.9, em busca de um ponto de melhor casamento de impedância entre a linha e o elemento irradiador.

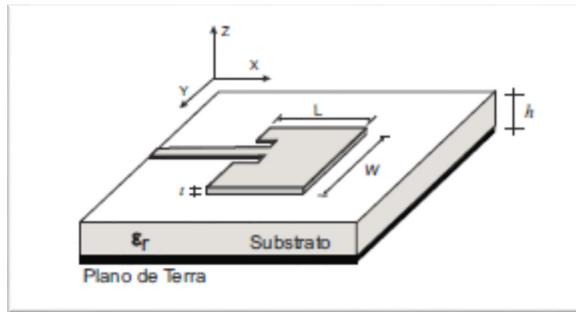


Fig. 2.8: Antena retangular sendo alimentada por uma linha de microfita via “inset-feed”.

2.5.3 Alimentação por acoplamento eletromagnético por linha de microfita

Ambos os casos anteriores, alimentação por linha de microfita na extremidade e por prova coaxial, possuem assimetrias inerentes que geram modos de ordem mais alta, gerando assim irradiação de polarização cruzada [Balanis, 1997]. Para contornar esses problemas, métodos de alimentação sem contato físico entre a alimentação e o elemento irradiador foram introduzidos, como acoplamento por fenda e acoplamento eletromagnético por linha de microfita.

Nesse tipo de alimentação, o elemento irradiador não entra em contato com a linha de microfita que irá alimentar a antena. Para tal, são utilizadas duas camadas de substrato com o elemento irradiador na camada superior e a linha de microfita na camada inferior, terminando em uma extremidade aberta [Garg et al., 2001] como apresentado na figura 2.10.

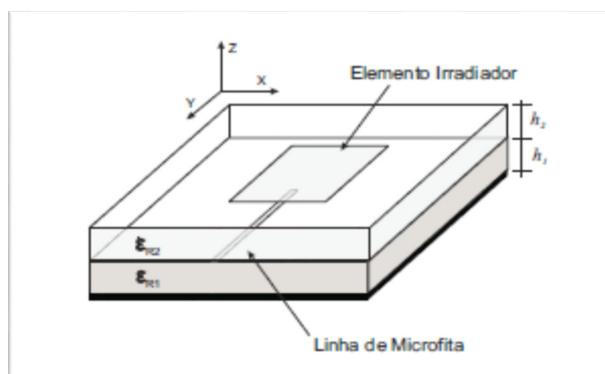


Fig. 2.9: Antena retangular alimentada através de acoplamento eletromagnético.

A utilização da alimentação via acoplamento eletromagnético permite, através de uma combinação de alturas (h) e constantes dielétricas (ϵ_r) dos substratos, um aumento na largura de banda, além de possibilitar que a linha de alimentação e o elemento irradiador sejam otimizados de forma independente. Por estar entre substratos dielétricos, a irradiação proveniente da linha de alimentação perturba menos o diagrama de irradiação da antena. Por outro lado, essa técnica possui um nível de dificuldade de fabricação maior que as anteriores, devido a sua estrutura em múltiplas camadas.

2.6 Métodos de Análise

Dados os parâmetros físicos de uma antena de microfita, é necessário utilizar algum método que produza uma estimativa numérica para critérios de desempenho, como: padrão de irradiação, largura de banda, impedância de entrada, diretividade, polarização, ganho e eficiência. A análise numérica de uma antena é importante por diversas razões, entre elas [Garg et al., 2001]:

- reduz o número de ciclos de tentativa e erro durante o processo de construção da estrutura;
- permite avaliar a flexibilidade e as limitações de cada tipo de antena e;
- fornece uma compreensão dos princípios de operação que podem ser úteis para modificar um formato existente e para o desenvolvimento de novas configurações de antenas.

Várias técnicas têm sido propostas e utilizadas para determinar as características operacionais de uma antena de microfita. Essas técnicas possuem graus de complexidade e precisão variadas e podem ser basicamente divididas em duas categorias principais: as técnicas analíticas ou empíricas, que levam em consideração a distribuição da corrente magnética equivalente em torno do elemento irradiador

(similar a antenas comfenda) e os métodos de onda completa, baseados na distribuição de corrente elétrica do elemento condutor e no plano de terra (similar à antenas dipolo) [Kumar & Ray, 2003].

As técnicas analíticas incluem principalmente o modelo de linha de transmissão, modelo de rede multiporta e o método de cavidade. Foram os primeiros métodos a serem desenvolvidos, usam hipóteses simples e oferecem soluções analíticas para o entendimento dos fenômenos físicos em questão. A simplicidade desses modelos é mantida à custa da precisão dos resultados alcançados [Garg et al., 2001].

Nesses métodos, os campos associados à antena são divididos em região interna e externa. A região interna é formada pelo elemento irradiador, a parte do plano de terra sob o elemento irradiador e as paredes formadas pela projeção da periferia do elemento irradiador no plano de terra. A região externa é formada por todo o restante do espaço, o restante do plano de terra e do dielétrico, e superfície condutora do elemento irradiador [Richards, 1988].

Métodos de onda completa têm recebido muita atenção devido a sua alta precisão. Em geral, são baseados em equações integrais do tipo Sommerfeld no domínio espectral e em soluções das equações de Maxwell no domínio do tempo. Entre os métodos numéricos mais utilizados, estão o método dos momentos (MoM), método dos elementos finitos (FEM) e método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD - Finite-Difference Time Domain) [Kumar & Ray, 2003].

Os principais métodos analíticos, linha de transmissão e método de cavidade, e o método de onda completa que é utilizado no ambiente para síntese, Método dos Momentos (MoM), são brevemente descritos a seguir. Descrições mais aprofundadas dos métodos apresentados podem ser encontradas em [Richards, 1988, Balanis, 1997, Stutzman & Thiele, 1998, Drabowitch et al., 1998, Garg et al., 2001].

2.6.1 Método de Linha de Transmissão

O método de linha de transmissão pode ser visto como o mais simples dos métodos analíticos que provêem auxílio na compreensão do desempenho de antenas de microfita. Neste modelo, o elemento irradiador de microfita é visto como uma linha de transmissão ressonante, sem variação nos campos transversais (o campo somente varia ao longo do comprimento), onde a irradiação ocorre principalmente a partir dos campos de franja no

final do circuito aberto, como mostrado na figura 2.11. A antena é representada por duas fendas estreitas, de largura ΔL , separadas por uma distância (L) igual ao comprimento do elemento irradiador. Assim, essa linha de baixa impedância pode ser pensada como sendo carregada nas duas extremidades não por circuito aberto, mas por cargas de alta impedância [Richards, 1988]

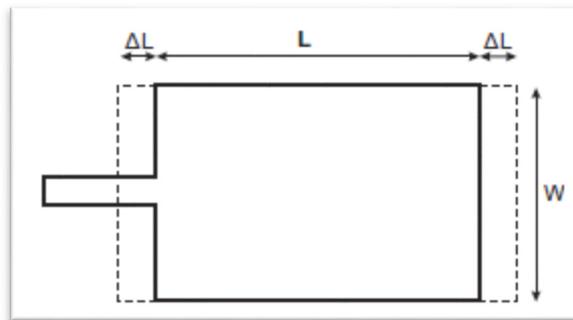


Fig. 2.10: Visões do elemento irradiador. (a) Visão Superior mostrando os campos de franja (ΔL)

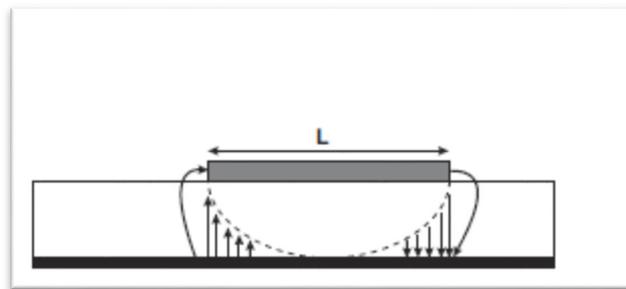


Fig. 2.11: Visões do elemento irradiador (b) Visão Lateral apresentando as correntes no substrato

Este modelo foi originalmente proposto para elementos com formatos retangulares, mas foi estendido para formatos generalizados. Muitas variações desse método têm sido utilizadas para analisar antenas de microfita [James & Hall, 1989, Babu et al., 1997]. No entanto, apesar da facilidade de uso do modelo, a análise não deve se restringir somente a esse modelo, uma vez que ele não leva em consideração a variação do campo na direção ortogonal à direção de propagação [Kumar & Ray, 2003].

2.6.2 Método de Cavidades

O método discutido na seção anterior é de fácil utilização. Porém, possui algumas desvantagens inerentes. Especificamente, o método de linha de transmissão é

particularmente útil para elementos irradiadores com formatos retangulares e ignora as variações de campo ao longo da borda ressonante.

O método de cavidades é uma tentativa de superar essas desvantagens.

O método de cavidades possui maior precisão e modela a parte interna como uma cavidade cercada por paredes elétricas no topo e na base, e uma parede magnética em toda a periferia. Essa suposição é baseada nas seguintes observações para substratos finos ($h \ll \lambda$) [Garg et al., 2001]:

- uma vez que o substrato é fino, os campos na região interior não variam muito na direção do eixo z, ou seja, normais ao elemento irradiador;

- O campo elétrico é orientado apenas na direção de z, e o campo magnético possui apenas os componentes transversais na região delimitada pela metalização do elemento irradiador e o plano de terra;

- A corrente elétrica no elemento irradiador não possui componente normal à borda da metalização do elemento irradiador, o que implica que o componente tangencial de \vec{H} ao longo da borda é negligenciado, e a parede magnética pode ser posicionada ao longo da periferia.

Os campos abaixo do elemento irradiador, para formatos regulares como retangulares, circulares e triangulares, podem ser expressos como a somatória dos vários modos ressonantes do ressoador de duas dimensões. Os campos de franja, ao longo da periferia, são levados em consideração estendendo os limites do elemento irradiador. Com isso as dimensões efetivas são maiores do que as dimensões físicas do elemento.

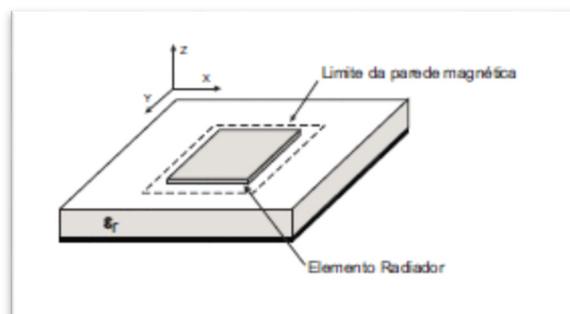


Fig. 2.12: Modelo da parede magnética de uma antena de microfita.

O efeito da irradiação proveniente da antena e a perda do condutor são levados em conta pela adição dessas perdas na tangente de perda do substrato dielétrico.

O campo distante e a potência de irradiação são calculados a partir da corrente magnética equivalente em torno da periferia. Um meio alternativo de incorporar o efeito de irradiação no modelo de cavidades é introduzir uma condição de contorno de impedância nas paredes da cavidade. Os campos de franja e a potência irradiada não são incluídos dentro da cavidade, mas localizados em suas bordas [Kumar & Ray, 2003].

Quando uma corrente oscilatória percorre uma antena de microfita, é estabelecida uma distribuição de carga sob a superfície do plano de terra e as duas superfícies (superior e inferior) do elemento irradiador. Existem duas tendências opostas que modelam essa distribuição de carga [Balanis, 1997]:

1. Uma atrativa entre cargas opostas nos pontos correspondentes ao lado inferior do elemento irradiador e o plano de terra. Essa atração tende a manter a carga do elemento concentrada na base e;

2. Uma tendência repulsiva entre cargas iguais na base do elemento irradiador. Isto tende a empurrar parte da carga em torno da extremidade do elemento para o topo da superfície.

A movimentação dessas cargas cria as correntes de densidade correspondente a J_b e J_t , no fundo e no topo da superfície do elemento irradiador, como mostrado na figura 2.13. Quando o elemento

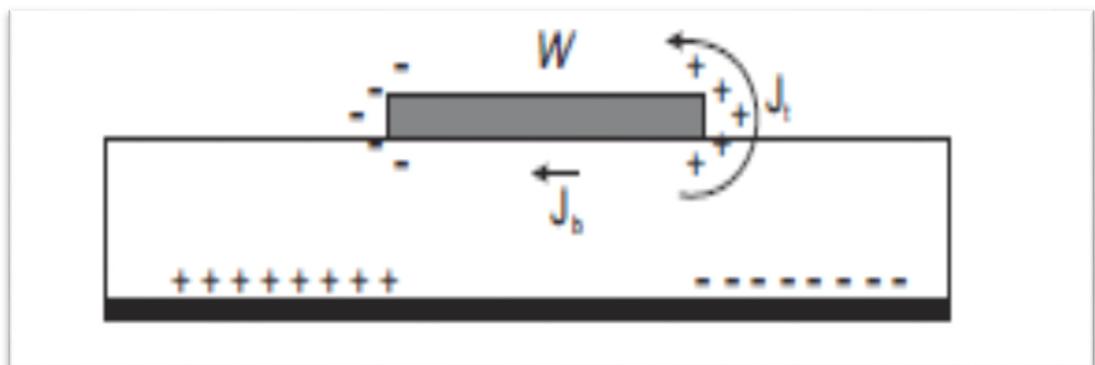


Fig. 2.13: Distribuição de corrente e densidade de corrente criada no elemento irradiador [Balanis, 1997].

é muito fino, a primeira tendência domina e quase toda a carga do elemento irradiador se concentra na base. Correspondentemente, grande parte da corrente elétrica flui sob o lado mais baixo do elemento e somente uma pequena parte flui em torno da extremidade para a superfície mais acima.

Conseqüentemente, o componente do campo magnético tangencial à extremidade do elemento irradiador é pequeno porém não exatamente zero. Para ser precisamente zero, pode-se introduzir um condutor magnético perfeito no plano entre a extremidade do elemento irradiador e o plano de terra, sem afetar os campos sobre o elemento irradiador. A introdução dessa parede magnética, ilustrada na figura 2.12, irá distorcer o formato da distribuição do campo magnético, mas não de forma significativa se o elemento for fino. Assim, para achar o formato da distribuição do campo magnético sobre o elemento irradiador, a antena é trocada por uma cavidade ideal.

A partir do formato da distribuição de campo magnético, é possível achar a correspondente distribuição do campo elétrico e, conseqüentemente, o padrão de irradiação [Richards, 1988]. É importante salientar que tanto o método de linha de transmissão quanto o método de cavidades consideram que a distribuição de corrente é uniforme ou senoidal [Stutzman & Thiele, 1998].

2.7 Objeto de Estudo

Neste trabalho, adotou-se o formato retangular para o elemento irradiador, o mais simples em antenas de microfita, principalmente pela facilidade de projeto e alimentação. Além disso, o formato retangular, por admitir uma simplificada análise matemática, se torna mais adequado para validar o ambiente de otimização desenvolvido, sendo esse o principal foco do trabalho.

Capítulo 3 – Substâncias Aquosas

3.1 Introdução

Uma solução aquosa é uma solução na qual o solvente é água. É normalmente mostrada em equações químicas com o subscrito (aq). A palavra aquosa refere-se a isto, ou dissolvido em água. Como água é um excelente solvente assim como naturalmente abundante, esta logicamente se tornou um solvente onipresente na química.

A habilidade de uma substância para dissolver-se em água é determinada por se a substância pode alcançar ou ultrapassar as fortes forças atrativas que as moléculas de água geram entre elas mesmas. Se a substância carece da habilidade para dissolver-se em água as moléculas formam um precipitado.

Soluções aquosas que conduzem corrente elétrica eficientemente contém eletrólitos fortes, enquanto aquelas que conduzem fracamente são consideradas contendo eletrólitos fracos. Estes eletrólitos fortes são substâncias que são completamente ionizadas em água. Não-eletrólitos são substâncias que dissolvem-se em água mas não produzem qualquer íon.

Ao executar os cálculos a respeito de reação de um ou mais soluções aquosas, deve-se geralmente saber a concentração, ou molaridade, das soluções aquosas. A concentração da solução é dada nos termos da forma do soluto anteriormente a ele ter-se dissolvido.

3.2 Substâncias Aquosas - NaCl

O cloreto de sódio, popularmente conhecido como sal ou sal de cozinha, é uma substância largamente utilizada, formada na proporção de um átomo de cloro para cada átomo de sódio. A sua fórmula química é NaCl. O sal é essencial para a vida animal e é também um importante conservante de alimentos e um popular tempero.

O sal é produzido em diversas formas: sal não refinado (como o sal marinho), sal refinado (sal de cozinha), e sal iodado. É um sólido cristalino e branco nas condições normais.

Cloreto de sódio e íons são os dois principais componentes do sal, são necessários para a sobrevivência de todos os seres vivos, incluindo os seres humanos. O sal está envolvido na regulação da quantidade de água do organismo. O aumento excessivo de sal causa risco de problemas de saúde como pressão alta.

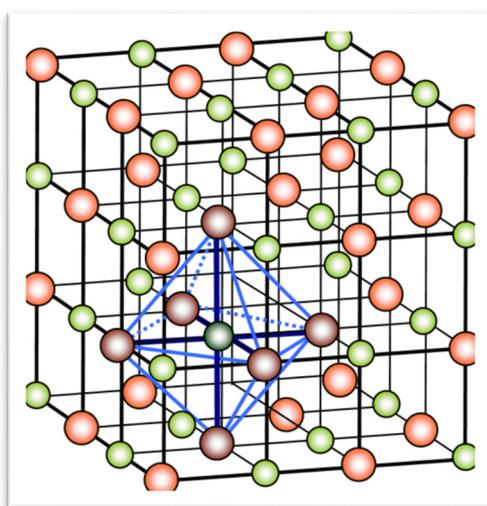


Fig. 3.1: Célula básica da estrutura de um cristal de sal (NaCl).

3.2 Substâncias Aquosas – C₂H₄O₂

Ácido acético é o nome reconhecido pela IUPAC. A abreviatura mais comum e oficial para o ácido acético é AcOH ou HOAc. O ácido acético (do latim acetum, azedo), C₂H₄O₂, oficialmente chamado ácido etanoico, é um ácido carboxílico (especificamente, um ácido monocarboxílico), saturado e de cadeia aberta. Quando ele está livre de água é conhecido como ácido acético glacial. Sua condutividade elétrica quando puro (glacial) é menor que a condutividade de uma solução deste em água, pois sua auto ionização é pequena. É utilizado como solvente em laboratório, podendo dissolver tanto compostos apolares quanto alguns sais. É um ácido fraco, estando pouco dissociado em solução aquosa.

Neste caso (HAc equivale ao ácido acético). AC significa o grupo acetil No contexto de reações ácido-base a abreviatura HAc é usada frequentemente onde a AC significa o anión acetato, embora este uso seja considerado por muitos como errôneo.

O ácido Acético tem a fórmula empírica CH_2O e a fórmula molecular $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$. O último é escrito frequentemente como $\text{CH}_3\text{-COOH}$, CH_3COOH , ou $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ para refletir melhor sua estrutura. O íon que resulta da perda de H^+ do ácido acético é o anion acetato. O nome acetato também pode se referir a um sal que contém este anion, ou a um éster do ácido acético.

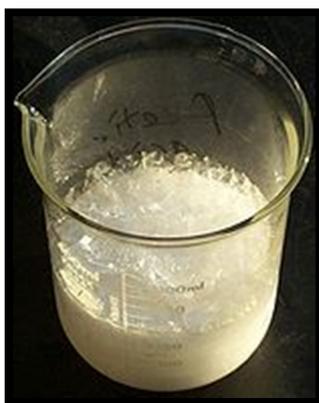


Fig. 3.2: Célula básica da estrutura vinagre ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$).

O vinagre é tão velho quanto a própria civilização, talvez mais velho. As bactérias produtoras de ácido acético estão presentes em todo o mundo, e toda a cultura que pratica fermentação da cerveja ou do vinho descobriu inevitavelmente o vinagre como o resultado natural destas bebidas alcoólicas que ficam expostas ao ar ambiente.

O uso do ácido acético na química se estende na antiguidade. No século III a.C., o filósofo grego Theophrastos descreveu como o vinagre agia em metais e produzia os pigmentos úteis na arte, incluindo a ligação branca (carbonato de chumbo) e o verdigris

O alquimista persa Jabir Ibn Hayyan (Geber) no século VIII obteve o ácido acético através da destilação. No renascimento, o ácido acético glacial foi preparado com a destilação seca. O alquimista alemão Andreas Libavius do século XVI descreveu destilação seca, e comparou o ácido acético glacial produzido por este meio ao vinagre.

A presença da água no vinagre tem um efeito tão profundo nas propriedades do ácido acético que por séculos muitos químicos acreditaram que esse ácido acético glacial e o ácido encontrado no vinagre eram duas substâncias diferentes. O químico francês Pierre Adet provou serem a mesma substância.

Em 1847 o químico alemão Hermann Kolbe sintetizou o ácido acético de materiais inorgânicos pela primeira vez. A sequência da reação consistiu na cloração do bissulfeto de carbono ao tetracloreto de carbono, seguido pela pirólise ao tetracloroetileno e a cloração aquosa ao ácido tricloroacético, e concluindo com redução eletrolítica ao ácido acético.

Em 1910 o ácido acético glacial foi obtido pela destilação seca da madeira. O ácido acético foi isolado pelo tratamento com hidróxido de cálcio, resultando em acetato de cálcio que foi acidificado então com ácido sulfúrico para recuperar o ácido acético.

Capítulo 4 - Modelagem Matemática

Estar-se interessado em descobrir as dimensões de antena para esta opere em 2,2 ou 2,4 GHz. Para isso faz-se uso de equações baseadas no eletromagnetismo aplicado.

Cálculo de W:

$$W = \frac{v_0}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Substituindo os valores de $fr = 2,4$ GHz; $\epsilon_r = 4,4$ e $v_0 = 3.10^8$ m/s, temos que $W = 38$ mm.

Cálculo de L:

$$L = \frac{1}{2fr\sqrt{\epsilon_{ref}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L = 67 \text{ mm} \quad (2)$$

Para calcular L precisamos de ΔL e ϵ_{ref}

Cálculo de ΔL :

$$\Delta L = 0,412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0,3)\left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0,258)\left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} = 0,831 \text{ mm} \quad (3)$$

Cálculo de ϵ_{ref} :

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right) = 0,817 \quad (4)$$

Tendo encontrado os valores em 3 e 4 substitui os mesmos em 2 Com isso temos os valores do tamanho da antena para que ela funcione em 2,4 GHz.

Capítulo 5 - Projeto da Antena

A proposta é projetar um sensor utilizando duas antenas patch com formato retangular com resposta de banda estreita (*narrow band*). A antena proposta é constituída por uma única camada metálica ($W = 38$ mm, $L = 67$ mm) cujo substrato tem 1.57 mm de espessura e permissividade relativa $\epsilon_r = 4,4$. Com acréscimo de (*insert feed*).

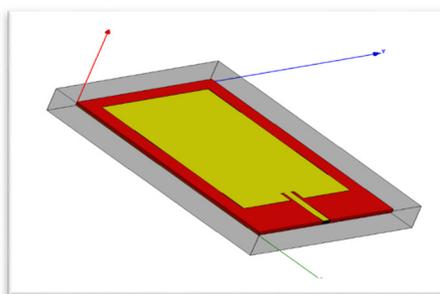


Fig. 5.1: Geometria da Antena de Microfita.

Nas simulações será utilizado o software HFSS. Para este trabalho foi considerada a faixa de alta frequência de 500 MHz a 4 GHz utilizada em comunicações móveis. No resultado simulado foi observado um bom casamento de impedância da ordem $Z = 50 + j0$ Ω .

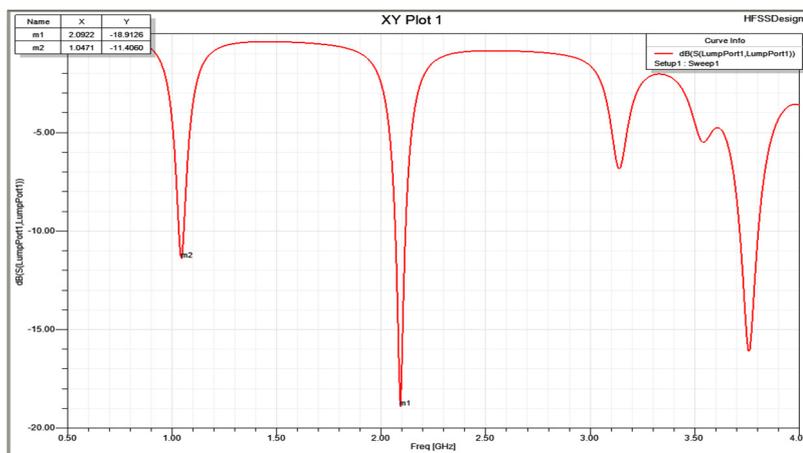


Fig. 5.2: Grafico da perda de retorno.

Capítulo 6 - Experimento

4.1 Introdução

No presente capítulo, são apresentados os resultados computacionais obtidos para a um projeto de antenas patch retangular com (*insert feed*) alimentada por linha de microfita, projetada para a frequência de 2,4 GHz.

A radiação gerada a partir das antenas é direcionada em uma solução aquosa de cloreto de sódio *NaCl* e *C2H4O2*.

Os resultados gerados são em termos de casamento de impedância $z=50 +j0$ e perda de retorno e o estudo estão na influência da incidência de reflexão e refração de uma onda eletromagnética na faixa de frequência de comunicações móveis em uma solução aquosa, mostrando assim diferentes comportamentos nos parâmetros de espalhamento.

O projeto da antena se idealizou através do *software* HFSS (*High Frequency Structure Simulator*).



Fig. 6.1: Antenas de Microfita.

Os tipo de soluções utilizadas foram adequadas para este tipo de estudo, pois é incolor e, estruturalmente, são os mais simples ácido carboxílicos.

4.1 Setup de Medição

Para o Setup de medição do experimento foram utilizadas duas antenas de microfita sendo uma transmissora e outra Receptora, para um melhor acomodamento das antenas foi elaborado e confeccionado um suporte para colocação/instalação das antenas.

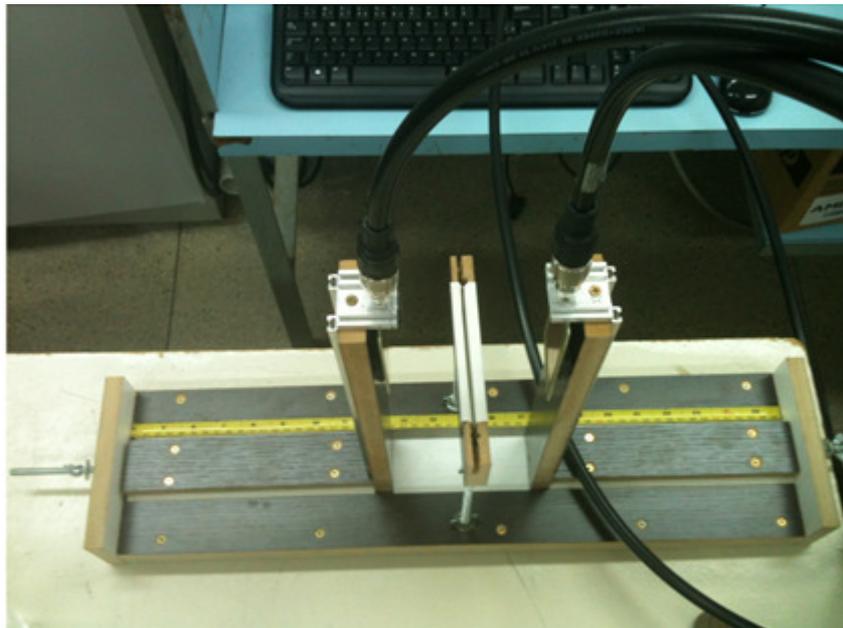


Fig. 6.2: Setup de Medição.

O equipamento de medição especificado será o Analisador de Rede (*Network Analyzer Agilent E5071C*) que será requisitado ao laboratório de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica da UFRN. Também será utilizado um computador para aquisição, controle e armazenamento dos dados medidos.

Os elementos a serem pesquisado inicialmente serão as soluções aquosas de NaCl com porcentagens de cristais de sal que variam de 0,5 a 30% e também C₂H₄O₂ popularmente conhecido como vinagre, ambos serão requisitados e fornecidos pelo laboratório de Química da UFRN.

Local determinado para a realização dos experimentos será o Laboratório de Pesquisa da Pós-Graduação da UFRN.

Principais pessoas envolvidas neste experimento: André Soffiatti, Prof. Sandro Gonçalves e Prof. Ronaldo de A. Martins.

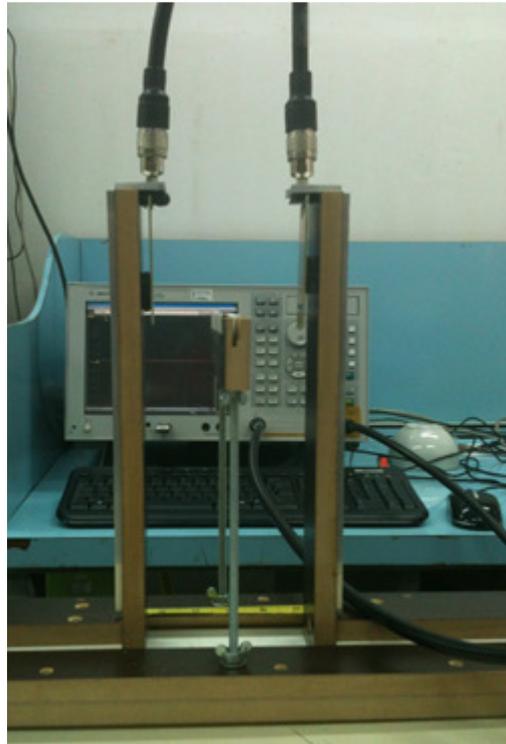


Fig. 6.3: Setup de Medição.

Capítulo 7 - Resultados

7.1 Tabela e Gráficos

Nos resultados seguintes mostram gráficos das medições para analisar a variação da percentagem de substâncias e, por conseguinte, o ajuste de sensibilidade pode ser determinado por gerar a tabela de referência de concentração por meio de atenuação. O gráfico abaixo, pode-se observar claramente a diferença em decibéis, entre os três tipos de concentração em relação à solução de NaCl procurado. Inicialmente, o eixo X, a frequência varia entre 2,22 GHz a 2.23 GHz. Considera-se a ler os gráficos 2,222 GHz.

TABELA I – ANÁLISE DO NaCL

CONCENTRAÇÃO	SUBSTANCIA DE CONCENTRAÇÃO NaCL		
	<i>MINILITRO ml</i>	<i>PORCENTAGEM %</i>	<i>ATENUAÇÃO dB</i>
NaCL	100	1	-33,3
NaCL	100	8	-33,1
NaCL	100	16	-32,2

No eixo Y atenuação vislumbre em decibéis. As cores na tabela seguinte são: azul representa a vácuo, com Vermelho NaCL = percentual de 1%, com o Verde NaCL = percentual de 8%, Amarelo com o percentual de NaCL 16%, respectivamente.

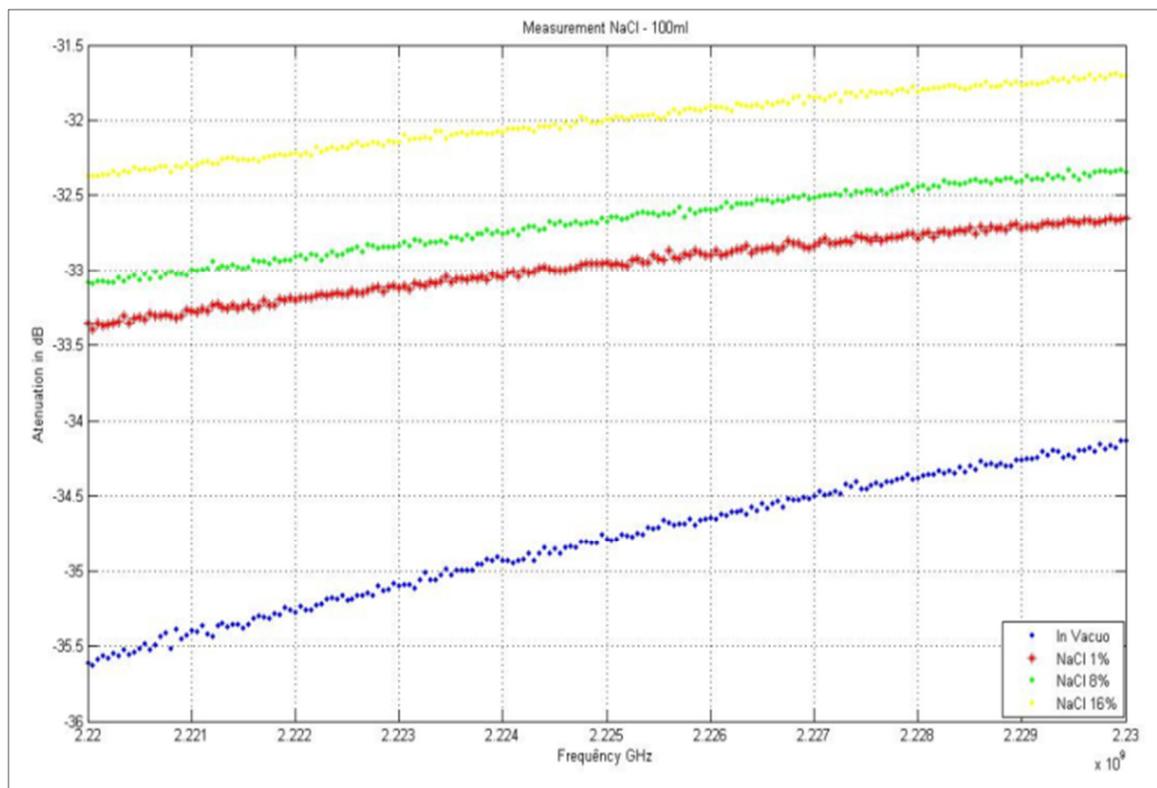


Fig. 7.1: Diagrama de Radiação NaCl.

Tabela II – Análise do C2H4O2

Concentration	SUBSTÂNCIAS DE CONCENTRAÇÃO C2H4O2		
	Milliliter ml	Percentage %	Attenuation dB
C2H4O2	100	1	-35,6
C2H4O2	100	8	-36,5
C2H4O2	100	16	-37,1

No eixo Y atenuação vislumbre em decibéis. As cores na tabela seguinte são: azul representa a vácuo, com Vermelho C2H4O2 = percentual de 1%, com o Verde C2H4O2 = percentual de 8%, Amarelo com o percentual de C2H4O2 16%, respectivamente.

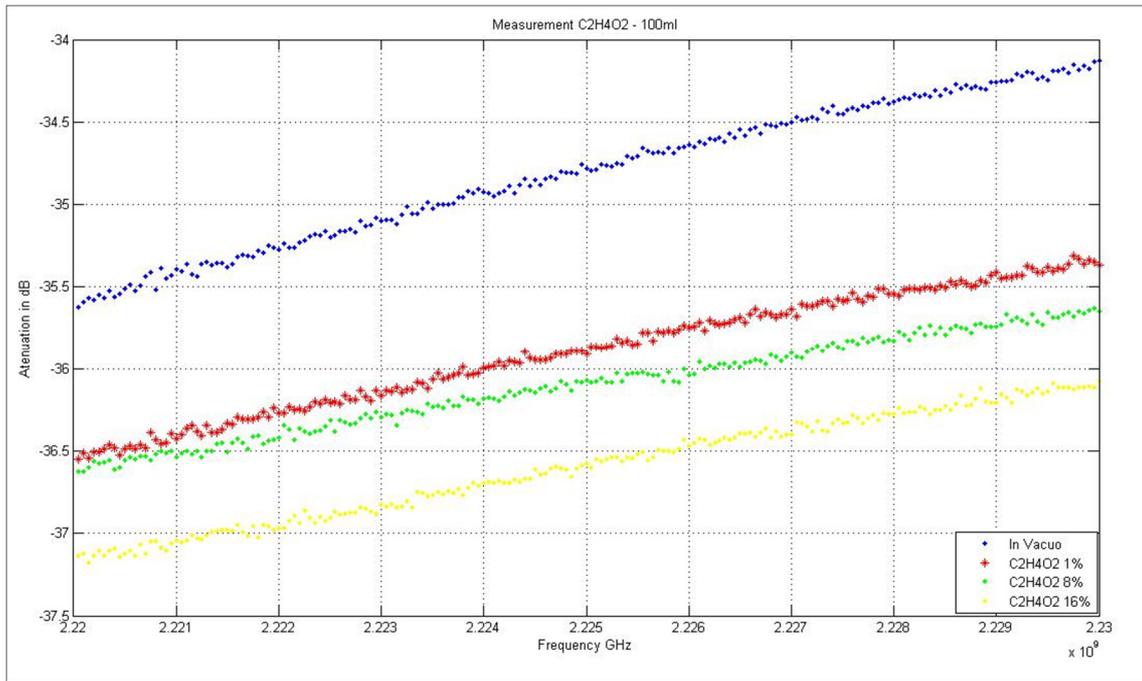


Fig. 7.2: Diagrama de Radiação C₂H₄O₂.

Capítulo 8 - Conclusão

O presente trabalho consiste na análise de misturas aquosas por meio de estudo do comportamento eletromagnético de substâncias. Para tal feito, foi utilizado um setup composto de um par de antenas de microfita com path retangular, qual tinha como suporte uma estrutura de madeira com distância regulada e um analisador de rede (*Network Analyzer Agilent E5071C*) como mostrado na figura 6.3.

Para detectar as variações das características das substâncias foi realizada a análise do comportamento em frequência para variações da permissividade elétrica e permeabilidade magnética das substâncias sob análise.

Na análise, as substâncias do objeto da pesquisa foram utilizadas com os níveis de percentuais de diluição em 100 ml de água destilada na proporção de 1 a 16%, ocasião em que se verificou a mudança no comportamento da frequência do sinal propagado para as diferentes concentrações do material. Este processo foi realizado para níveis de concentração das substâncias NaCl (Cloreto de Sódio) e C₂H₄O₂ (Vinagre), sendo essas substâncias comuns no uso de conservação de alimentos industrializados.

A partir dos dados obtidos nas medições, se comprovou uma variação no parâmetro S₂₁ do setup utilizado. A análise confirma, pois, a existência de uma frequência de ressonância específica para as diferentes concentrações de diluição da mesma substância. O estudo indica, pois, a possibilidade de se determinar a dosagem dos níveis (partes por MOL) das substâncias sem a necessidade de uma observação química ou mesmo de um contato direto com a substância.

Desta forma, pode-se concluir que a verificação da variação de uma determinada substância em um recipiente fechado pode ser obtida por um processo físico, como a incidência de uma onda eletromagnética sobre a matéria em estudo, substituindo os métodos químicos usuais na indústria.

Para o avanço da presente matéria, linhas de pesquisa devem surgir para promover o desenvolvimento de um sensor eletromagnético para a indústria, com foco para a área de controle de qualidade, cujo objetivo seja o de detectar substâncias estranhas à composição esperada nas variadas composições, a partir da observação da alteração entre as ondas eletromagnéticas esperadas para o objeto classificado como padrão e a matéria que esteja sendo processada, por exemplo no processo de envasamento ou mistura dos materiais, aumentando, com isso, os níveis de confiabilidade do processo e melhorando o controle interno de qualidade do produto antes de ser colocado à disposição no mercado.

Referências Bibliográficas

- [1] C.A Balanis, Analysis and Design, 2nd ed., Wiley, New York, 1997.
- [2] J. X. Xiao, M.F. Wang, and G.J. Li, A ring monopole antenna for UWB.
- [3] Alba, E. & Tomassini, M. (2002). Parallelism and evolutionary algorithms.
- [4] IEEE Transactions on Evolutionary Computation Alba & Tomassini, 2002
- [5] Babu, S.;Singh, I.; & Kumar, G. (1997). Improved linear transmission line model for rectangular, circular and triangular microstrip antennas. In IEEE AP-S International Symposium Digest (pp. 614–617).
- [6] Splitt G. User Manual mstrip 40 - <http://www.e-technik.fh-kiel.de/splitt/html/Manual.htm>.
- [7] WEAR, K.A. The Effects of Frequency-dependent Attenuation and Dispersion on
- [8] Sound SpeedMeasurements: Application in Human Trabecular Bone. IEEE Transaction.
- [9] On Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control.
- [10] V. G. Veselago, “The eletrodynamics of substances with simultaneouslynegative values of ϵ and μ ,” Sov. Phys. Uspekhi, vol. 10, pp. 509–514, Jan.–Feb. 1968.
- [11] D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, “Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity,” Phys. Rev. Lett., vol. 84, pp. 4184–4187, May 2000.
- [12] T. Itoh and C. Caloz, Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications. Hoboken, NJ: Wiley, 2006, pp. 4–9.
- [13] K. Buell, H. Mosallaei, and K. Sarabandi, “A substrate for small patch antennas providing tunable miniaturization factors,” IEEE Trans.Microw. Theory Tech., vol. 54, no. 1, pp. 135–146, Jan. 2006.
- [14] Z. Li, K. Aydin, and E. Ozbay, “Determination of the effective constitutive parameters of bianisotropic metamaterials from the reflection and transmission coefficients,” Phys. Rev. E, vol. 79, pp. 026610-1–026610-7, Feb. 2009.
- [15] H. Mosallaei and K. Sarabandi, “Design and modeling of patch antenna printed on magneto-dielectric embedded-circuits metasubstrate,” IEEE Trans. Antennas

- Propag., vol. 55, no. 1, pp. 45–52, Jan. 2007. C. F. L. Vasconcelos, S. G. Silva,
- [16] I. J. Bahl e P. Bhartia, “Microstrip Antennas”, Artech House, Inc, second printing, 1982.
- [17] Raymond Tang e Richard W. Burns, “Phased Arrays”, Antenna Engineering Handbook, Second Edition, McGraw-Hill.
- [18] O. Mrabet. “High Frequency Structure Simulator (HFSS)Tutorial”, IETR UMR CNRS 6164, INSA, França 2009.
- [19] J.Kessler, R.Dill and P.Russer, “*Field Theory Investigation of High-Tc Superconducting Coplanar Waveguide Transmission Lines and Resonators*”, IEEE MTT, vol. 39, nº 9, pp. 1566 - 1574, Sep. 1991.
- [20] E. A. Elbadawy, D. A. Aziz e M. A. Rahman, “*A more comprehensive analysis of a microstrip antenna in the spectral domain*”, Circuits and Systems, 1990., Proceedings of the 33rd Midwest Symposium on , Aug. 1990, vol.1, pp. 125 –128.
- [21] A. R. N. Farias e H. C. C. Fernandes, “*Microstrip antenna design using the TTL method*”, 1997 SBMO/IEEE International Microwave and Optoelectronics Conference, Natal-RN, pp. 291-296, Ago. 1997.
- [22] Tatsuo Itoh e Wolfgang Menzel, “*A Full-Wave Analysis Method for Open Microstrip Structures*”, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-29, No.1 January 1981, pp. 63-68.
- [23] A. H. Ramadan; K. Y. kabalan; A. El-Hajj; S. Khaury; M. Al-Husseini. “A reconfigurable U-Koch Microstrip Antenna for Wireless Applications”. Progress In Electromagnetics Research, PIER 93, pp. 355-367, 2009. <http://www.jpier.org/PIER/pier93/23.09050605.pdf>
- [24] K. C. Arsie; E. W. Karas e A. A. Ribeiro “Dimensão Espacial” Departamento Matemática, Universidade Federal do Paraná, Outubro 2012. <Http://people.ufpr.br/~ewkaras/ic/karla08.pdf>
- [25] Microwave Measurement of Dielectric Properties of Low-Loss Materials by the Dielectric Rod Resonator Method - http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1133033&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1133033
Published in: Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on (Volume:33 , Issue: 7)
- [26] Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/WR016i003p00574/abstract;jsessionid=C7E5446A148292ED6034392A427C44C0.f03t04?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>
- [27] The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz - <http://iopscience.iop.org/0031-9155/41/11/002>.

- [28] Measurement of Dielectric Material Properties Application Note
http://www.rohde-schwarz.de/file/RAC-0607-0019_1_5E.pdf
- [29] Estudo da Detecção Preventiva da Osteoporose pela Aplicação da Variação da permissividade Elétrica a partir da Sondagem Eletromagnética
http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/1/10750/1/JannaynaDB_DISSERT.pdf