



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

**Método Não-Invasivo Utilizando a Frequência de
Micro-ondas para Verificação da Concentração de Etanol
em Gasolina**

Carolina Cavalcanti Pedrosa e Silva

Campina Grande - PB

Julho de 2019

Carolina Cavalcanti Pedrosa e Silva

Método Não-Invasivo Utilizando a Frequência de Micro-ondas para Verificação da Concentração de Etanol em Gasolina

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Linha de Pesquisa: Telecomunicações

Alexandre Jean René Serres, D.Sc.

(Orientador)

Campina Grande - PB

Julho de 2019

Carolina Cavalcanti Pedrosa e Silva

Método Não-Invasivo Utilizando a Frequência de Micro-ondas para Verificação da Concentração de Etanol em Gasolina

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovada em ___/___/___

Alexandre Jean René Serres
Orientador

Professor
Convidado

Campina Grande - PB
Julho de 2019

Dedico este trabalho a Mônica,
a mulher mais forte que já conheci.

Agradecimentos

Primeiro agradeço ao Criador pela minha existência, por ser a chama de vida que arde em meu coração e a lanterna que ilumina meus caminhos. Gratidão pelo tanto que me foi dado.

Agradeço a aqueles que estão no céu, a minha existência é fruto da de vocês, ancestralidade que me ama, me nutre e influencia. Vovô Arlindo, Vovô Lula e Bisa Julita, vocês são minhas estrelas no céu escuro.

À minha mãe, Mônica, não tenho palavras que façam jus ao seu papel na minha vida. A cada vez que quis desisti e desacreditei de mim mesma, você estava lá, desde o princípio. Obrigada, minha guia e dádiva divina, todo o amor do mundo que sinto por você é obra do seu exemplo de vida e integridade, este momento antes de ser meu, é seu.

Ao meu padrasto Alberto, líder da família, exemplo de retidão. Muito do meu caráter é obra sua, que sem nem perceber, me influencia tanto. Você tem meus eternos respeito e admiração.

Aos meus irmãos: André, Lucas e Amanda. Meus passarinhos de canto bonito, que me motivam a ser exemplo e me encham de amor. Sou a "irmã velha" mais abençoada do mundo por ter vocês.

Para minha Vovó Cida, minha princesa, carinho e brincadeira desde o início da minha vida. Sua fé me trouxe até aqui, sua leveza me instiga a sorrir sempre. Te amo daqui até a lua.

A toda minha família: tio, tias, primos e madrinha. Minha construção tem como pilares vocês.

Ao meu noivo, Rafael, que desde que iniciei minha graduação escolheu estar ao meu lado, estranho seria se eu não me apaixonasse por você.

Aos meus amigos, meus irmãos por escolha, que me ergueram, ajudaram e apoiaram, se for verdade que eu sou uma média dos meus amigos mais próximos, eu sou melhor do que mereço. Em especial aos meus grupos: Negrôncia, Zona da Vó e Diretoria da APS, vocês são incríveis.

Ao Laboratório de Radiometria, nas figuras do Prof. Edmar e do Prof. Alex, que possibilitaram grandes conquistas em minha vida. Ao LIEC, nas figuras do Prof. José Sérgio, Prof. Jaidilson e do M.Sc. Marcus Marinho, por possibilitar a conclusão desse projeto.

A todas as mulheres na área de exatas.

“Nenhum homem é uma ilha isolada; cada homem é uma partícula do continente, uma parte da terra; se um torrão é arrastado para o mar, a Europa fica diminuída, como se fosse um promontório, como se fosse a casa dos teus amigos ou a tua própria; a morte de qualquer homem diminui-me, porque sou parte do gênero humano. E por isso não perguntes por quem os sinos dobram; eles dobram por ti.”

John Donne

Resumo

A adulteração da gasolina no Brasil tornou-se uma prática comum em seu processo de transporte, distribuição e comercialização. O uso de gasolina não-conforme tem muitas consequências negativas para a sociedade, incluindo problemas financeiros e de saúde, como o consumo excessivo de gasolina, a diminuição do desempenho do motor, a combustão espontânea e o aumento da emissão de poluentes. Portanto, vários métodos de análise da composição de gasolina estão disponíveis no mercado, mas muitos desses métodos só são viáveis em laboratórios, exigindo pessoas especializadas para avaliar a qualidade do produto. Além disso, os métodos não-invasivos ainda não são amplamente utilizados para realizar a medição da qualidade da gasolina, o que é um agravamento adicional do manuseio da gasolina durante todo o processo de teste e análise. Assim, considerando que a gasolina padrão é uma mistura líquida dielétrica com cerca de 30 hidrocarbonetos diferentes, o presente trabalho propõe um método não invasivo aplicado à medição da qualidade da gasolina. Este método baseia-se na variação dos parâmetros elétricos da mistura, utilizando como sensor um ressonador de micro-ondas, uma vez que parâmetros dielétricos variáveis alteram a transmissão de potência em estruturas específicas.

Palavras chave: Mistura líquida dielétrica, conteúdo de etanol em gasolina, micro-ondas, ressonador

Abstract

The adulteration of gasoline has become a common practice in the process of its transportation, distribution and commercialization. Using non-compliant gasoline has many negative consequences for society including financial and health problems like gasoline overconsuming, decreasing engine performance, spontaneous combustion and increasing of pollutants emission. Therefore, several methods of complete gasoline analysis are available in the market, but many of these methods are only feasible in laboratories, requiring specialized people to gauge the quality of the product. Furthermore, non-invasive methods are not yet widely used to perform gasoline quality measurement, which is a further aggravation of gasoline handling throughout the entire testing and analysis process. Hence, considering that standard gasoline is a dielectric liquid mixture with about 30 different hydrocarbons, the present paper proposes a non-invasive method applied to gasoline quality measurement. This method is based on the variation of electrical parameters of the mixture, utilizing as the sensor a microwave resonator, once that varying dielectric parameters alter the power transmission in specific structures.

Keywords: Dielectric liquid mixture, ethanol content in gasoline, microwave, resonators

Lista de ilustrações

Figura 1 – Propriedades Dielétricas da Gasolina Pura e do Etanol.	15
Figura 2 – Diferentes iterações para a mesma estrutura fractal.	18
Figura 3 – Coeficiente de Transmissão para diferentes iterações da mesma estrutura Fractal.	19
Figura 4 – Modelagem no software ANSYS® HFSS - Becker Vazio e Ressorador - Visão Isométrica.	19
Figura 5 – Análise Comparativa da sensibilidade ao becker de vidro para diferentes iterações.	20
Figura 6 – Modelo Multi-físico no ANSYS® HFSS - Ressorador.	21
Figura 7 – Frequências Centrais para Diferentes Valores de $L\beta$	21
Figura 8 – Protótipo do Ressorador Construído.	23
Figura 9 – <i>Setup</i> de medição para o becker vazio na superfície do ressoador.	23
Figura 10 – Coeficiente de Transmissão - Apenas o Ressorador.	24
Figura 11 – Coeficiente de Transmissão - com becker de vidro. Source: Author.	24
Figura 12 – Método de Separação da Mistura Gasolina-Etanol	25
Figura 13 – Resultados Experimentais para diferentes amostras do composto de gasolina e etanol.	26
Figura 14 – Setup de Testes.	26
Figura 15 – Bancada utilizada para a obtenção de gasolina pura.	27
Figura 16 – Curva aproximada da relação entre o S_{21} e a porcentagem de etanol no composto.	28
Figura 17 – Representação do diagrama de blocos do sistema.	29
Figura 18 – VCO utilizado no projeto.	30
Figura 19 – Detector de Potência utilizado no projeto.	31
Figura 20 – Interface Humano-Máquina desenvolvida no LabVIEW.	32
Figura 21 – Setup de Medição do Projeto.	33
Figura 22 – Variação da Frequência a partir da Tensão de Sintonia.	34
Figura 23 – Curvas de caracterização do VCO e Ressorador. Variação de Potência na saída a partir da variação de Frequência do VCO.	34
Figura 24 – Curvas de caracterização do VCO, Ressorador e Detector de Potência em conjunto	35
Figura 25 – Curvas obtidas para o experimento com Gasolina, 27% de Etanol e 100% de Etanol para o sistema integrado.	36

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Motivação	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.2.3	Metodologia	11
2	PARÂMETRO DE SENSORIAMENTO	12
3	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA GASOLINA E DO ETANOL	14
4	RESSOADOR DE MICRO-ONDAS	16
4.1	Topologia Fractal	16
4.2	Topologia do Ressorador	18
4.3	Caracterização do Ressorador	23
5	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	29
5.1	Visão Geral do Sistema	29
5.2	Oscilador Controlado por Tensão (VCO)	30
5.3	Detector de Potência	30
5.4	Placa de Aquisição de Dados	31
5.5	Ambiente Gráfico LabVIEW	31
6	INTEGRAÇÃO DO SISTEMA E RESULTADOS	33
6.1	Caracterização do VCO com o Ressorador	33
6.2	Caracterização do VCO, Ressorador e Detector de Potência	35
6.3	Integração do Sistema	35
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	37
	REFERÊNCIAS	38

1 Introdução

A gasolina é um produto refinado de petróleo que consiste em uma mistura de hidrocarbonetos, aditivos e agentes de mistura. Sua composição varia muito, dependendo dos óleos brutos utilizados, dos processos de refinaria disponíveis, do equilíbrio geral da demanda do produto e das especificações do produto. No Brasil, a ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis especifica três tipos de gasolina automotiva, tipo A, tipo B e tipo C, sendo a gasolina tipo B utilizada exclusivamente pelo Exército (IARC, 1989).

Sem etanol, a gasolina tipo A é a forma mais pura produzida pelas refinarias e entregue aos distribuidores. Tem a cor amarelada, além de também possuir a categoria *premium*, oferecendo um produto com alta octanagem. A gasolina tipo C, o produto encontrado nos postos de combustíveis, consiste em uma mistura de gasolina tipo A e uma porcentagem de etanol puro (LANE, 1980).

Pela legislação federal brasileira, a adição de etanol é obrigatória na gasolina tipo C. O teor de etanol encontrado na gasolina, atualizado em março de 2015, é de 27 % com erro de ± 1 %. Este valor foi alterado várias vezes, apresentando valores de 27 %, 23 %, até 20 %. A variação no percentual de etanol encontrado na gasolina deve-se principalmente à disponibilidade de cana-de-açúcar e seu preço no mercado (SANTOS, 2003).

A adulteração da gasolina com outros reagentes que não só o etanol é uma realidade nesse mercado, visando aumentar a margem de lucro com a venda de um produto não-conforme, frequentemente danoso para o motor.

1.1 Motivação

A detecção da adulteração da gasolina por etanol é de extrema importância socioeconômica devido aos danos causados por consumo de combustível não-conforme, principalmente se levado em consideração os efeitos corrosivos do etanol em carros que não sejam adaptados para a flexibilização seu combustível de funcionamento. Comumente, o processo de verificação da adulteração da gasolina é feito de forma invasiva e não imediata, por vezes exigindo uma manipulação laboratorial elaborada.

Desta forma, a sociedade pode se beneficiar positivamente com o contínuo desenvolvimento de instrumentos de medição capazes de detectar imediatamente não conformidades presentes na gasolina de forma simplificada e economicamente viável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho propõe um sistema de sensoriamento não-invasivo, que consiga realizar a detecção da gradação de etanol em uma amostra de gasolina.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisa Bibliográfica sobre parâmetros de sensoriamento em micro-ondas;
- Pesquisa Bibliográfica sobre projeto de ressoadores;
- Desenvolver topologias de ressoadores em ambiente de simulação para estudar a capacidade de detecção de parâmetros destes;
- Construir o ressoador para análise comparativa com os resultados de simulação;
- Fazer testes com gasolina contendo diferentes gradações de etanol para análise da funcionalidade prática do ressoador.

1.2.3 Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho consistiu na aplicação de rotinas de pesquisa para atualização bibliográfica acerca do tema proposto.

Em seguida, foram estudadas topologias para o ressoador, sensor do projeto, através do processo de otimização do software de simulação eletromagnética ANSYS[®] HFSS, com o intuito de determinar uma geometria com uma performance satisfatória para o objetivo do trabalho.

Por fim, foi construído o ressoador e montado um ambiente de medição para análise da resposta deste para a gasolina com diferentes gradações de etanol em sua composição.

2 Parâmetro de Sensoriamento

O comportamento de um dado material pode ser definido por suas grandezas macroscópicas, mensuráveis, tais como: condutividade elétrica, condutividade térmica, permeabilidade magnética, permissividade elétrica e outras. Esses parâmetros são característicos de cada material e seus valores podem variar dependendo de alguns fatores, como temperatura, pressão e frequência do campo aplicado. Neste trabalho, o principal objeto de estudo é o comportamento da permissividade elétrica para a gasolina e um de seus principais elementos de adulteração, o etanol, levando em consideração a variação da composição química de cada material, que por sua vez afeta diretamente a permissividade elétrica (POZAR, 2011) (BALANIS, 2005).

Alguns materiais possuem perdas dielétricas. Para estes materiais, a permissividade elétrica é uma quantidade complexa e parte da energia da onda eletromagnética que passa pelo material é transformada em calor (POZAR, 2011). Esse processo de aquecimento dielétrico por micro-ondas já é amplamente difundido e é induzido por dois fenômenos distintos: rotação de dipolos e condução iônica.

A rotação de dipolos ocorre devido ao fato que quando tem incididos em si uma campo elétrico, vão tender a se realinhar com a polaridade do campo correspondente. Com campos que variam rapidamente, os elétrons irão se realinhar em igual velocidade e, para frequências específicas, vão acabar entrando em rotação. Neste processo, as moléculas vão colidir, causando fricção e conseqüentemente aquecendo.

Na condução Iônica, íons carregados irão oscilar de acordo com o campo elétrico, que ao mudar de direção irá desacelerar e mudar a posição desses íons. Subseqüentemente, esse processo causa colisões, transformando energia cinética em calor.

Os processos supracitados ocorrem de forma distinta para cada material ou substância, gerando como propriedade a permissividade elétrica, que descreve como um dado material reage a um dado campo elétrico aplicado, podendo ser definida pela Equação:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 \quad (2.1)$$

onde ε é a permissividade elétrica, ε_r permissividade relativa, característica de cada material, e ε_0 a permissividade do espaço livre, com valor de $\varepsilon_0 = 8,854.10^{-12}$ F/m.

A permissividade relativa pode ser expressa pela Equação:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r' - \varepsilon_r'' \quad (2.2)$$

onde ε_r' é a parte real da permissividade relativa e ε_r'' é a parte imaginária. A parte real também é conhecida como constante dielétrica do material e representa a porção sem perdas da troca de energia, enquanto a parte imaginária, denominada fator de perda, é responsável pela quantidade de energia térmica dissipada no meio devido ao campo elétrico. A relação entre as partes real e imaginária da constante dielétrica é conhecida como a tangente de perda de material ($\tan\delta$) e representa a relação entre a energia perdida e a energia armazenada no material por ciclo da onda externa aplicada. Em geral, os materiais dielétricos são caracterizados pelas duas grandezas: a constante dielétrica e a tangente de perda, ambas em função da frequência e da temperatura (POZAR, 2011).

A partir disso, podemos analisar as diferentes composições químicas da gasolina e do etanol, com o objetivo de desenvolver o projeto do sensor em uma frequência que permita uma significativa diferenciação de permissividade entre o etanol e a gasolina.

Uma vez que, dependendo do sensor, podemos detectar as diferentes composições de uma solução baseado no comportamento do campo elétrico resultante aplicado na solução.

3 Propriedades Físico-Químicas da Gasolina e do Etanol

A gasolina é um subproduto apolar do petróleo composta por hidrocarbonetos voláteis, possuindo de 4 a 12 átomos de carbono, com faixa de destilação variando entre 30 a 220° a 1 atm de pressão. Possui características de alta energia de combustão, alta volatilidade e compressibilidade, sendo amplamente utilizada no setor automobilístico.

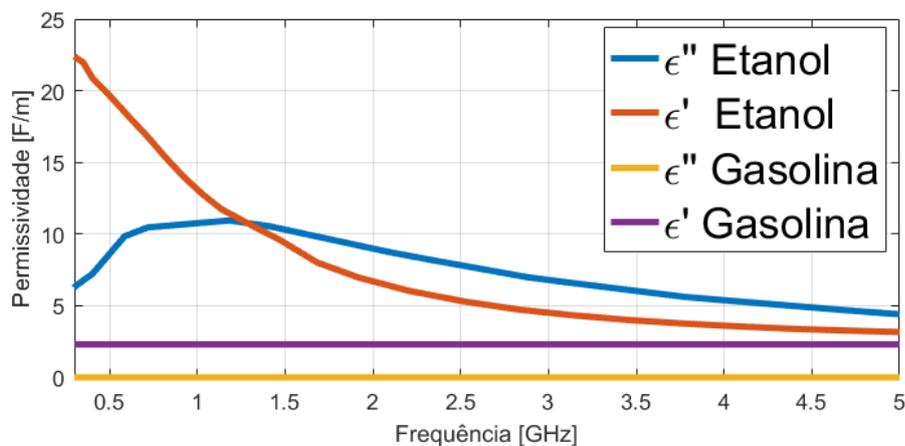
As variedades de gasolina que são distribuídas aos consumidores são determinadas de acordo com os motores projetados e suas características, tal qual a taxa de compressão do motor, que afeta a temperatura e a pressão na qual a gasolina será submetida no automóvel. De acordo com a ANP, a variedade amplamente utilizada no Brasil é a Tipo C, que atualmente possui 27% de Etanol Anidro em sua composição. Qualquer variação na proporção dessa composição constitui de venda de gasolina adulterada não-conforme, responsável por uma grande variedade de danos aos veículos, desregulando o motor e aumentando o consumo de combustível. Além disso, a exposição prolongada ao Etanol Anidro causa corrosão das partes metálicas em contato com o combustível em carros que não sejam adaptados para esta finalidade. Por fim, deve ser citado o prejuízo da arrecadação de impostos pela união e concorrência desleal entre os distribuidores de combustíveis (MIDDELBURG et al., 2017).

A adulteração da gasolina tipo A, pura, com outros compostos modifica as características físico-químicas da mistura resultante. Especialmente, se ambas as substâncias possuírem características dielétricas muito diferentes entre si, como é o caso do Etanol e da Gasolina.

O Etanol Anidro é uma substância polar, ou seja, possui características dielétricas sensíveis a variação de frequência (PACE; WESTPHAL; GOLDBLITH, 2006; MULEY; BOLDOR, 2012), diferentemente da gasolina pura, que é uma substância apolar com uma condutividade elétrica muito baixa. Entretanto, a gasolina Tipo C possui uma condutividade mais elevada que sua versão pura devido à adição do etanol em sua composição. Portanto, quanto maior a concentração de etanol em uma amostra de gasolina, maior será a condutividade do produto resultante.

Na Figura 1, podemos observar o comportamento dielétrico do etanol e da gasolina Tipo A frente a uma variação de frequência. O Etanol, em específico, mostra uma distinta diminuição da sua constante dielétrica quando na presença de um aumento de frequência. No entanto, a condutividade da gasolina pura é muito baixa e insensível a variação de frequência.

Figura 1 – Propriedades Dielétricas da Gasolina Pura e do Etanol.



Fonte: Adaptação de [Middelburg et al. \(2017\)](#)

Desta forma, podemos analisar a faixa de frequência na qual a disparidade das características dielétricas entre o etanol e a gasolina é considerável, uma vez que para realizar um sensoriamento dependente da interação do campo elétrico com a substância, quanto maior a alteração da característica dielétrica do composto final frente a adição de etanol, melhor a detecção da porcentagem desta substância dentro do composto.

Pela Figura 1, podemos observar que há uma diferenciação significativa entre as constantes dielétricas dos compostos em até aproximadamente 3 GHz. Logo, a estrutura do sensor precisa ser sensível a alterações dentro dessa faixa de frequência.

4 Ressonador de Micro-Ondas

Um ressonador é um dispositivo ou sistema que em determinadas frequências ele pode oscilar com maiores amplitudes, chamadas frequências de ressonância.

Os ressoadores podem gerar ondas em frequências específicas ou seleciona-las a partir de um sinal de entrada, atuando como um filtro. A sua resposta frente a uma excitação é dependente da propagação do campo elétrico em sua superfície. Com isso, cada mudança na composição do material irá mudar o meio de propagação, ocasionando mudanças no sinal da saída (POZAR, 2011).

Filtros elétricos são responsáveis por processarem sinais, atenuando o efeito de frequências indesejadas dentro do sistema a ser analisado. Deixando como sinal de saída majoritariamente aquilo que é desejado, possuindo resposta em frequência dividida em faixa de passagem e faixa de rejeição, as quais estão separadas por uma faixa de transição ou faixa de guarda.

A Faixa de Passagem contém as frequências nas quais o sinal terá atenuação mínima. Já a Faixa de Transição contem as frequências nas quais o sinal tem atenuações variáveis, mas nunca iguais a da Faixa de Passagem, sendo o momento transitório entre ela e a Faixa de Rejeição, que consiste nas frequências que o sinal de entrada sofre grandes atenuações (DARYANANI, 1976).

Como supracitado, a gasolina e o etanol possuem constantes dielétricas variantes em frequência, portanto, é necessário que o sensor seja projetado de tal forma que possua variações na amplitude do sinal de saída baseadas na interação do campo elétrico com a solução de gasolina e etanol, na frequência onde haja uma maior disparidade entre as características dielétricas desses compostos, que como mencionado anteriormente, está em até 3 GHz.

Para tanto, foi necessário estudar topologias que agregassem as características necessárias para a realização do projeto, tais como: invariança em frequência dada uma mudança no meio de propagação, atenuação na faixa de rejeição/ passagem variável com a solução em sua superfície, insensibilidade à presença do becker de vidro, entre outras que serão tratadas mais a frente. A topologia com Estrutura Fractal, após levantamento bibliográfico, conseguiu atender os critérios supracitados e foi a escolhida para a aplicação.

4.1 Topologia Fractal

Nos últimos anos, a topologia de fractais tem sido utilizada como uma alternativa para a otimização de aplicações em engenharia de micro-ondas (Mezaal; Eyyuboglu; Ali,

2013; Verma; Rano; Hashmi, 2017), devido a sua auto-similaridade, que apresenta um comportamento no espectro de multi-banda, assim como seu auto-preenchimento (*self-filling*), que contribui para a miniaturização, reduzindo custos devido a menor quantidade de material necessário para sua manufatura (Chen et al., 2009).

Os fractais são formas cujas partes assemelham-se ao seu todo de alguma forma (FEDER, 1988), podendo ser expresso por um processo recursivo ou iterativo.

Existem três tipos principais de fractais: Sistema de Funções Iteradas, Fractais definidos por uma relação de recorrência e Fractais Aleatórios (ALVES, 2007).

No presente trabalho, foi utilizada a técnica de Fractais definidos por sistemas de funções iteradas para gerar as curvas de interesse. São denominados Fractais Determinísticos ou Geométricos, possuindo uma regra fixa de substituição geométrica bem definida. Desta forma, o fractal possui uma auto-similaridade exata e evidente, sendo idêntico a si mesmo em diferentes escalas.

Para garantir que a área do fractal aumente a cada iteração, foi utilizado apenas Fractais pela Fronteira, que são estruturas definidas a partir uma porção da forma inicial, aumentando o seu perímetro a cada área ou iteração.

O conceito de dimensão na Geometria Euclidiana define pontos como tendo dimensão 0, linhas tendo dimensão 1, áreas tendo como dimensão 2 e espaço como tendo dimensão 3. Os fractais, entretanto, não obedecem essa regra em sua formação, podendo possuir dimensões fracionárias ou irracionais. A dimensão de um fractal, por Hausdorff, é dada por (MANDELBROT, 1982):

$$D = \frac{\log n}{\log r} \quad (4.1)$$

onde n é a quantidade total de partes e r o fator de redução, que é definido pela razão entre a medida inicial e a final.

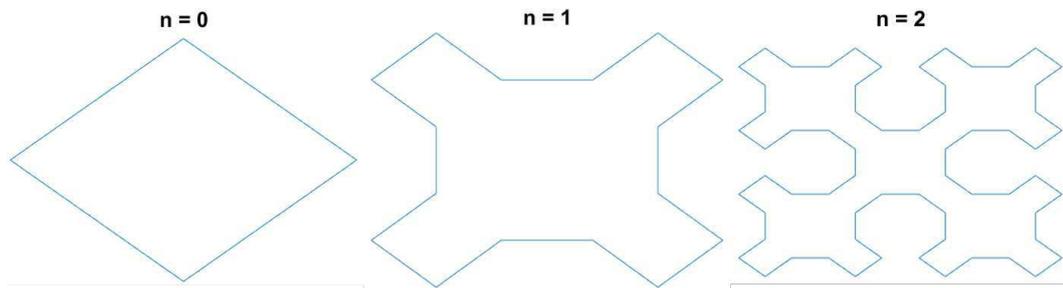
Na Figura 2, é apresentado o losango como a forma inicial para as iterações ($n=0$). A cada iteração, os losangos se replicam nos vértices de um quadrado. Esse tipo de estrutura possui dois tipo de razões de similaridades, uma para replicar os losangos e outra para replicar os quadrados (WERNER; GANGULY, 2003).

Nesse caso, teremos $n = 4$, por gerar mais quatro outros losangos com fator de redução igual a 2, por cada novo losango gerado ter metade da área do anterior. Portanto, a dimensão dessa topologia será:

$$D = \frac{\log 4}{\log 2} = 2 \quad (4.2)$$

Portanto, a estrutura gerada é bi-dimensional e, assim, mais intuitiva de se para-

Figura 2 – Diferentes iterações para a mesma estrutura fractal.



Fonte: Próprio Autor.

metrizar.

Entretanto, é necessário que a iteração escolhida seja tal que atue como um filtro passa-faixa ou rejeita-faixa com frequência central próxima a 2 GHz e cuja transmissão de potência varie de acordo com a mistura entre gasolina e etanol posicionada em sua superfície.

O filtro passa-faixa é um dispositivo que permite a passagem das frequências de uma certa faixa e rejeita (atenua) as frequências fora dessa faixa. De forma oposta, um filtro rejeita-faixa ou filtro de rejeição de banda é um filtro que permite a passagem da maioria das frequências inalteradas, porém atenua aquelas que estejam em uma faixa determinada pelo filtro (DARYANANI, 1976).

Para a análise da resposta da topologia e sua otimização, foi criado um modelo multifísico no software ANSYS® HFSS. As formas foram geradas no Matlab® e importadas no HFSS. A forma inicial ($n=0$) e suas duas iterações subsequentes ($n=1$ e $n=2$) foram analisadas para a escolha da melhor topologia para essa aplicação. Um maior número de iterações iriam comprometer a inteligibilidade dos traços e aumentar significativamente a complexidade de manufatura, pela necessidade de uma maior precisão.

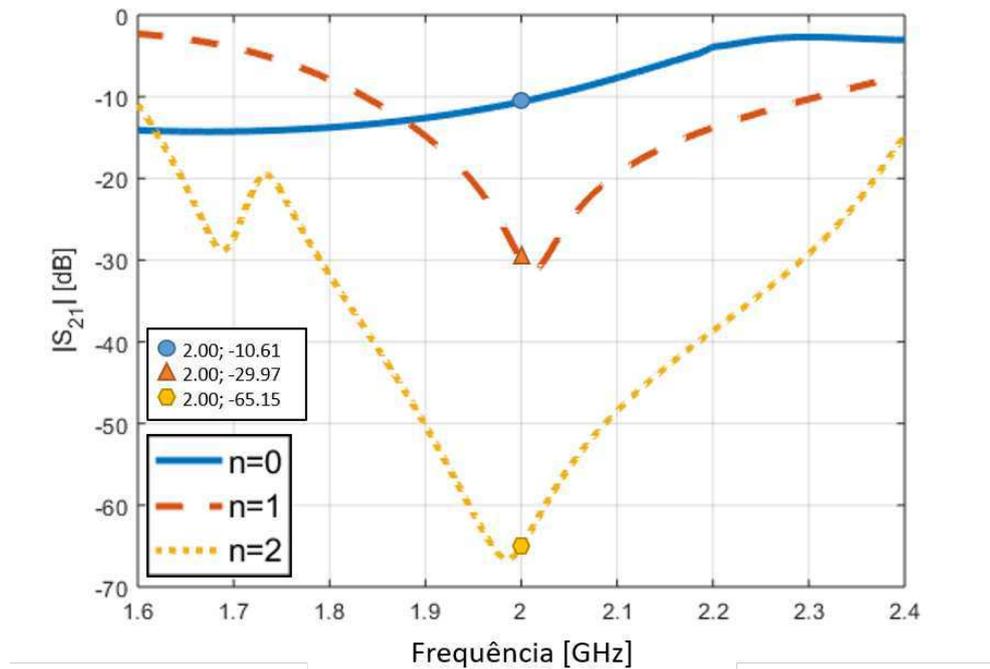
4.2 Topologia do Ressonador

O parâmetro mais importante para essa aplicação é o Coeficiente de Transmissão (S_{21}) (BALANIS, 2005). Esse parâmetro nos permite inferir quanta potência está sendo transferida para a porta de saída. Portanto, para escolher qual iteração irá ser utilizada na estrutura do ressonador, precisa-se comparar os Coeficientes de Transmissão para cada caso. Os resultados estão na Figura 3.

Analisando os resultados gerados pela forma inicial ($n=0$), pode-se inferir que ela não funciona como um filtro passa-faixa ou rejeita-faixa na frequência de interesse, tornando-a inapropriada para a aplicação.

Outrossim, para realizar as medições, será necessária a presença de um becker

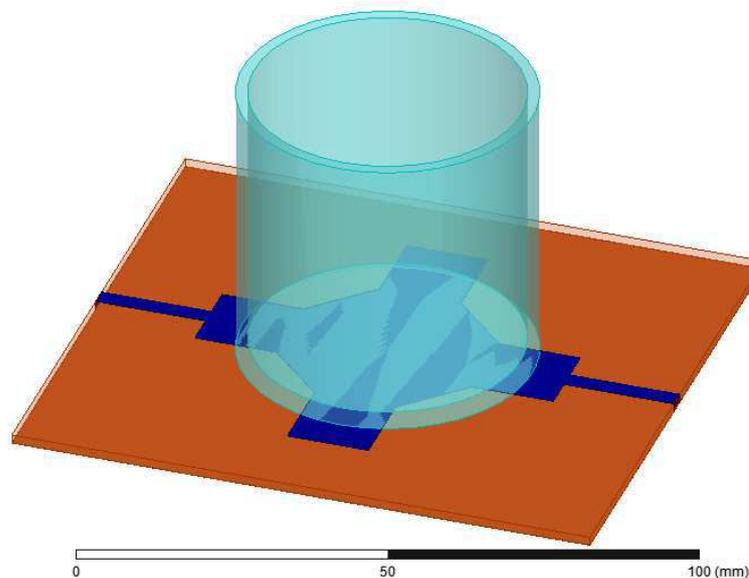
Figura 3 – Coeficiente de Transmissão para diferentes iterações da mesma estrutura Fractal.



Fonte: Próprio Autor.

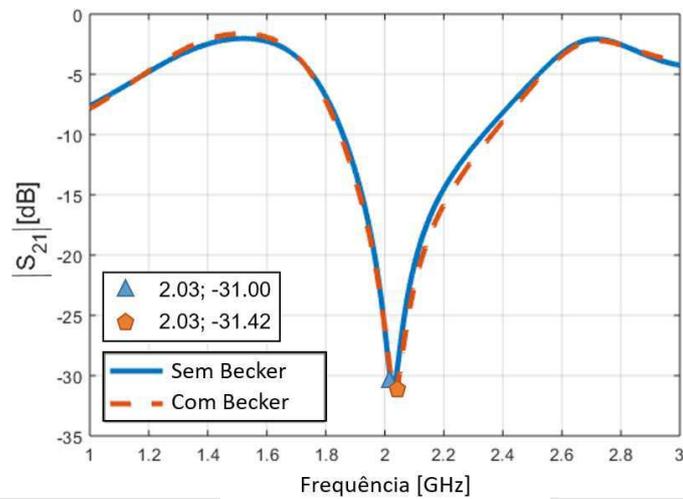
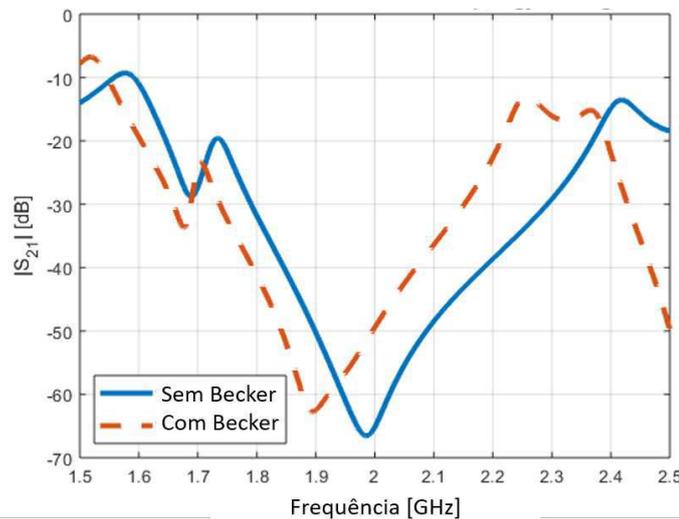
de vidro para depositar a gasolina, portanto a potência de saída precisa sofrer uma interferência mínima na presença deste objeto na frequência de interesse. Para tanto, o becker também foi adicionado ao ambiente de simulação para observar o impacto no S_{21} das topologias $n=1$ e $n=2$, conforme a Figura 4. Os resultados para $n=1$ e $n=2$ estão na Figura 5 (a) e (b), respectivamente.

Figura 4 – Modelagem no software ANSYS® HFSS - Becker Vazio e Ressonador - Visão Isométrica.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 5 – Análise Comparativa da sensibilidade ao becker de vidro para diferentes iterações.

(a) Coeficiente de Transmissão - Ressonador com $n=1$, com e sem um becker de vidro.(b) Coeficiente de Transmissão - Ressonador com $n=2$, com e sem um becker de vidro.

Fonte: Próprio Autor.

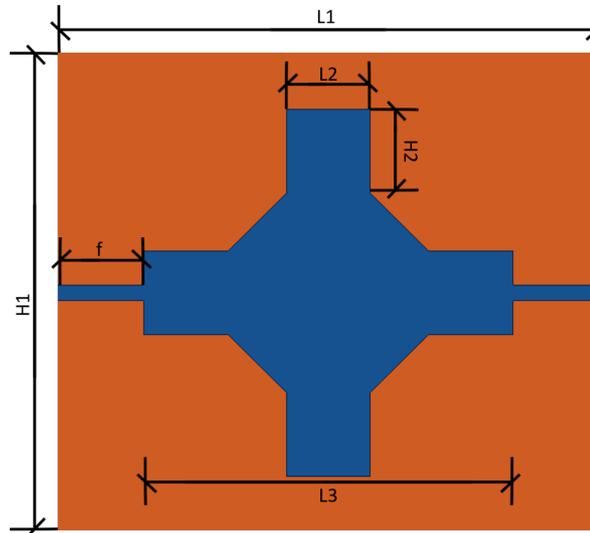
Podemos observar que ambas as topologias funcionam como um Filtro Rejeita faixa na banda de interesse. Entretanto, a topologia para $n=1$ foi a que sofreu a menor mudança de resposta na presença do becker de vidro. Portanto, será a escolhida para otimização e subsequente manufatura.

As dimensões do ressonador tem influência direta nas habilidades de detecção de potência do sensor (BALANIS, 2005), uma vez que fatores como a quantidade de material condutor, o material dielétrico e a topologia irão afetar a propagação de micro-ondas no ressonador.

Para determinar o dimensionamento que seja mais próximo da frequência de 2

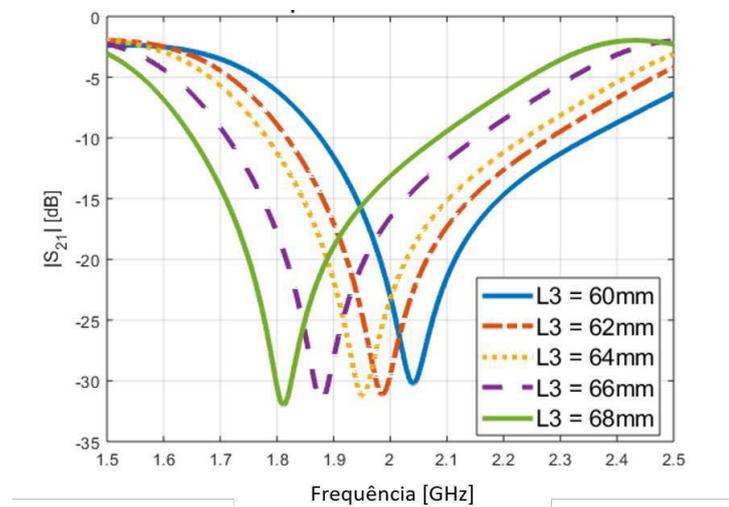
GHz, foi utilizada a ferramenta de otimização do simulador. Cinco pontos de variação para $L3$ foram criados (Figura 6), os resultados obtidos estão na Figura 7.

Figura 6 – Modelo Multi-físico no ANSYS® HFSS - Ressonador.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 7 – Frequências Centrais para Diferentes Valores de $L3$.



Fonte: Próprio Autor.

Podemos observar que o comprimento $L3$ que proporciona a resposta mais próxima à frequência desejada de 2 GHz foi 62 mm, que será utilizada daqui em diante. Todas as outras dimensões do ressonador estão explicitadas na Tabela I.

As linhas de alimentação foram posicionadas simetricamente, buscando conferir a característica de um filtro rejeita-faixa ao ressonador, cuja frequência central será aquela onde a diferenciação entre a permissividade da gasolina e o do etanol seja significativa.

Tabela 1 – Dimensões do Ressonador

Dimensão	mm
L1	100.00
H1	90.00
L2	14.40
H2	14.40
L3	62.00
f	19.00

Dependendo do fluido, o filtro irá alterar a magnitude da potência transferida na saída, desta forma, será possível fazer a detecção dos diferentes níveis de etanol na amostra.

4.3 Caracterização do Ressonador

A magnitude S_{21} simulada do ressonador, Figura 5(a), expressa as características do sensor. Para a frequência de 2 GHz, pouca potência está sendo transferida para a porta de saída. Para analisar os resultados do ressonador fabricado (Figura 8), uma série de testes foi realizada no Laboratório de Radiometria da Universidade Federal de Campina Grande.

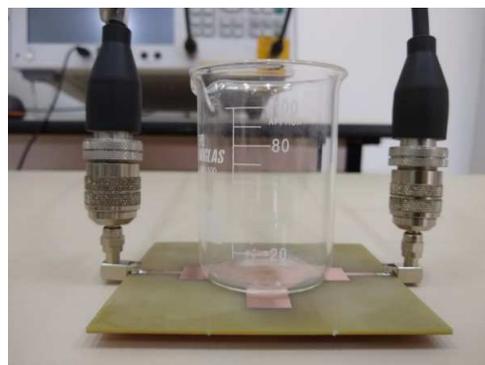
Figura 8 – Protótipo do Ressonador Construído.



Fonte: Próprio Autor

O *setup* de medição consistiu no ressonador acoplado a um Vector Network Analyzer e o becker vazio de 100 ml colocado no topo do ressonador (Figura 9). Utilizando um modelo S5071C da Agilent Technologies VNA, medimos o S_{21} do ressonador, sem e com um becker vazio. Os resultados são mostrados na Figura 10 e na Figura 11, respectivamente.

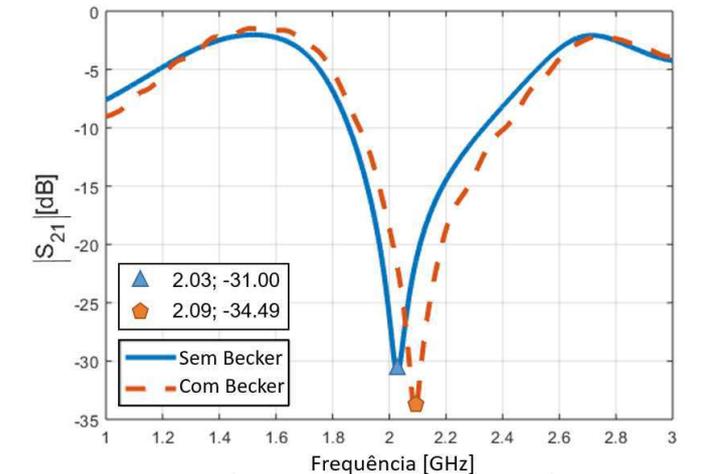
Figura 9 – *Setup* de medição para o becker vazio na superfície do ressonador.



Fonte: Próprio Autor.

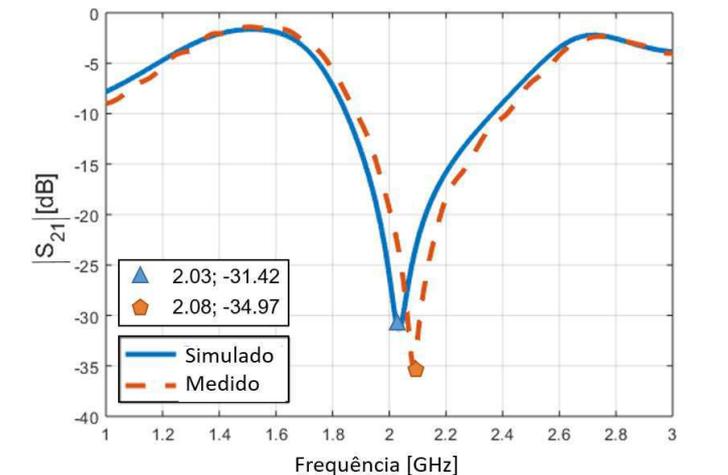
Além disso, também é necessário que o becker tenha pouco ou nenhum efeito no S_{21} , porque a interferência do vidro poderia causar leituras mistas com a gasolina, produzindo resultados imprecisos. Conforme mostrado anteriormente, esse objetivo foi alcançado, uma vez que não houve alteração significativa na frequência ou na potência transmitida.

Figura 10 – Coeficiente de Transmissão - Apenas o Ressonador.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 11 – Coeficiente de Transmissão - com becker de vidro. Source: Author.



Fonte: Próprio Autor.

Os resultados mostraram um deslocamento de frequência de 60 MHz, que não é um valor alto se comparado a ordem de grandeza em que estamos trabalhando, e menos energia está sendo transmitida do que a simulada, o que é positivo, porque aumenta a escala de sensibilidade nosso sensor. Além disso, o becker não altera significativamente nenhum resultado, comportando-se conforme previsto nas simulações.

Os erros podem ser causados por várias diferenças construtivas entre o ambiente de simulação estéril e o laboratório de medição, como a fabricação manual do ressonador,

a presença de outras ondas eletromagnéticas, erros no equipamento de medição, variações na impedância do conector, poeira e assim por diante.

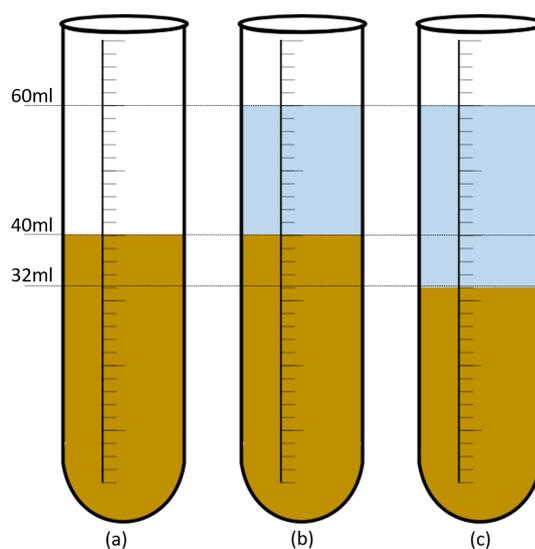
Para os testes com gasolina, foram mensuradas cinco diferentes composições de amostras, a fim de compreender o comportamento dielétrico do Etanol quando adicionado à gasolina pura (tipo A). As amostras consistiram de gasolina pura, gasolina com 27% de etanol, 30% de etanol, 50% de etanol e apenas etanol.

Entretanto, para obter as amostras, foi necessário um método de obtenção de gasolina pura, uma vez que sua comercialização é restrita. O método de separação por adição de água foi o escolhido, onde é possível obter gasolina pura a partir da comercializada normalmente com 27% de etanol.

O princípio utilizado para embasar essa metodologia é que compostos polares dissolvem compostos polares e compostos apolares dissolvem compostos apolares. De acordo com a literatura (KOTZ; TREICHEL; TOWNSEND, 2008), água é uma substância polar, enquanto a gasolina é apolar. O etanol possui uma afinidade muito superior à água do que a gasolina, então, quando na presença de água ele irá se dissolver nela, restando apenas a gasolina pura em uma fase da solução.

Esse método também pode ser utilizado para determinar a quantidade de etanol em uma amostra de gasolina. Na Figura 12, podemos observar um exemplo do método utilizado, em (a) uma amostra de 410 ml de gasolina com 20% de etanol foi adicionada. Se 20 ml de água é adicionada como em (b); após aproximadamente 30 minutos a fase do líquido claro deve ter aumentado e 8 ml que é os 20% de etanol contido previamente na solução apenas com gasolina.

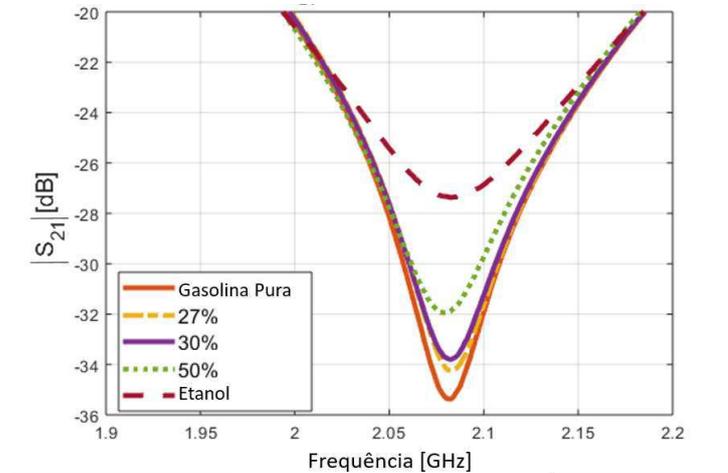
Figura 12 – Método de Separação da Mistura Gasolina-Etanol



Mistura com 20% de Etanol (a), Adição de Água (b) e a solução após dissolução do etanol na água (c). Fonte: Próprio Autor.

Os resultados são exibidos na Figura 13.

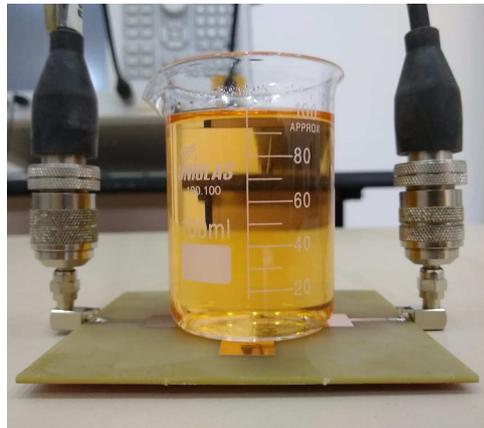
Figura 13 – Resultados Experimentais para diferentes amostras do composto de gasolina e etanol.



Fonte: Próprio Autor.

A configuração dos testes consistiu no ressonador ser acoplado ao VNA, depois o becker ser preenchido com 100 ml de cada amostra e colocado no topo do ressonador (Figura 14).

Figura 14 – Setup de Testes.



Fonte: Próprio Autor.

No Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da Universidade Federal de Campina Grande, foi realizada a separação da gasolina e do etanol. A proporção de água ficou em 50ml para 50ml de gasolina comercial tipo C, com 27% de etanol. A proveta contendo a mistura encontra-se na Figura 15.

Além disso, é necessário estabelecer a frequência central, a fim de medir a diferença na potência transmitida para cada amostra. Neste caso, tal frequência será de 2,09 GHz,

Figura 15 – Bancada utilizada para a obtenção de gasolina pura.



Fonte: Próprio Autor.

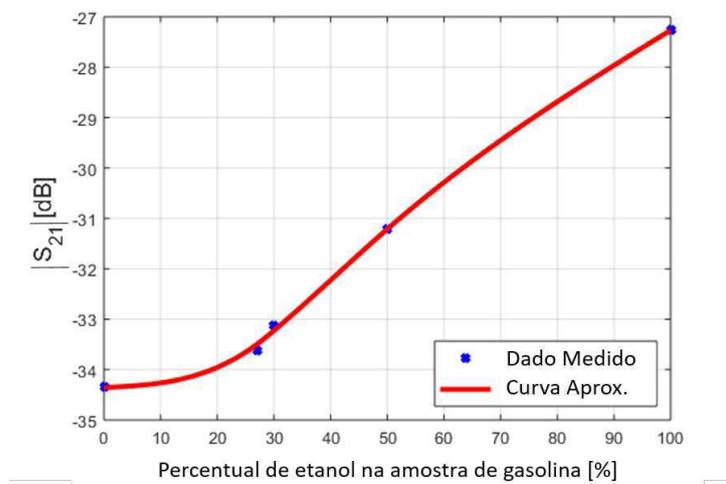
onde pode ser encontrada a menor potência transmitida para o ressonador construído (Figura 11), o que significa melhor sensibilidade para diferentes amostras.

Para a frequência de 2,09 GHz, tivemos valores diferentes de $|S_{21}|$ para cada amostra, o que possibilitará definir um padrão e interpolar os valores para entender o comportamento dielétrico da mistura Gasolina-Etanol. Os valores são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 – S_{21} para diferentes amostras do composto de etanol e gasolina.

Tipo de Susbtância	S_{21} [dB]
Gasolina Pura	-34.34
27% Etanol	-33.63
30% Etanol	-33.12
50% Etanol	-31.20
Etanol	-27.27

Após essa análise, foi possível interpolar os dados adquiridos utilizando a ferramenta Curve Fitting Tool[®] no Matlab[®], gerando a aproximação de como a curva de Porcentagem de Etanol X $|S_{21}|$ deve se assemelhar, como mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Curva aproximada da relação entre o S_{21} e a porcentagem de etanol no composto.

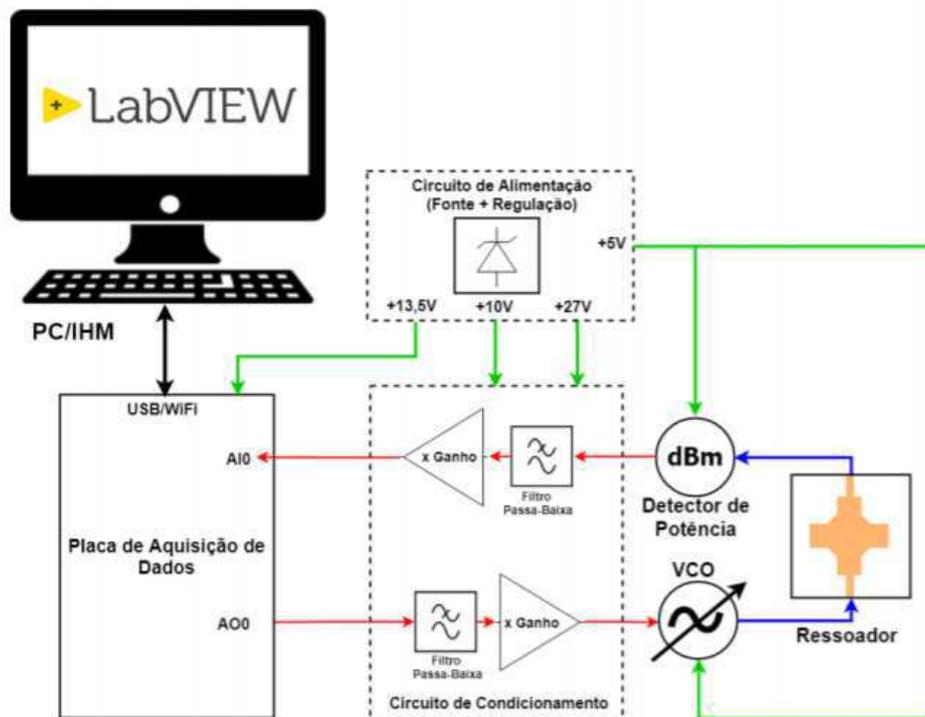
Fonte: Próprio Autor.

5 Sistema de Aquisição de Dados

5.1 Visão Geral do Sistema

Foi desenvolvida uma plataforma experimental para captura e processamento de dados, baseada no comportamento do ressoador. Na Figura 17, temos o diagrama de blocos do sistema de aferição dos dados da gasolina.

Figura 17 – Representação do diagrama de blocos do sistema.



Próprio Autor.

A plataforma foi desenvolvida através de uma parceria entre o Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) e o Laboratório de Radiometria, ambos do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande.

O sistema proposto constitui-se de 8 (oito) blocos: um micro-computador comportando a Interface Homem-Máquina (IHM) desenvolvida em LabVIEW[®], um dispositivo de aquisição de dados, um circuito de acionamento, um VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), o Ressorador de Micro-ondas, um Detector de Potência e um sistema de alimentação, composto por duas fontes e um circuito regulador de tensão.

O princípio de funcionamento desse sistema consiste em aplicar na entrada no ressoador o VCO, que irá gerar oscilações nas frequências de interesse. Na saída, o detector de potência irá converter o sinal recebido em um nível DC, que irá variar de acordo com a amostra do composto gasolina-etanol aplicado. A partir desses dados, o dispositivo de aquisição de dados e a IHM irão atuar como uma interface de controle e calibração, podendo serem configurados conforme a necessidade dos testes.

5.2 Oscilador Controlado por Tensão (VCO)

Para gerar o sinal na entrada do oscilador, foi utilizado o Oscilador Controlado por Tensão ZX95-2150VW+, produzido pela Mini-Circuits (Figura 18).

Figura 18 – VCO utilizado no projeto.



Fonte: Próprio Autor.

Esse tipo de circuito pode ser realizado através de diversas topologias, entretanto, como se trata de um projeto em micro-ondas, o nível de complexidade do projeto sobe consideravelmente, uma vez que os componentes eletrônicos mais comumente utilizados não funcionam de forma precisa para altas frequências, portanto, prezando a redução de tempo de projeto e a garantia de faixas de operação confiáveis, foi escolhido a aquisição desses componentes.

5.3 Detector de Potência

Após a inserção do sinal na entrada do ressoador, se faz necessária a detecção da potência de saída de acordo com o sinal inserido na entrada pelo VCO. Pelos resultados discutidos na Seção 5, podemos inferir que a potência na saída do ressoador irá variar proporcionalmente à quantidade de etanol dentro da amostra.

Pelos motivos supracitados na Seção 6.1, foi utilizado o modelo ZX47-40LNS+ (Figura 19), também produzido pela Mini-Circuits.

Figura 19 – Detector de Potência utilizado no projeto.



Fonte: Próprio Autor.

5.4 Placa de Aquisição de Dados

A Aquisição de Dados consiste no processo de medição de grandezas físicas com o uso de um computador. Como mostrado na Figura 17, esse sistema de aquisição de dados é formado essencialmente pelo sensor, hardware de aquisição e medição de dados e um computador com software programável.

O Hardware de Aquisição e Medição de Dados utilizado foi o NI myRIO-1900. Sendo um dispositivo portátil reconfigurável, com integração ao LabVIEW, software de engenharia de sistemas criado especificamente para aplicações de teste, medição e controle, com rápido acesso ao hardware e às informações obtidas a partir dos dados.

Com o objetivo de concentrar as informações de aquisição e controle do sistema de detecção do percentual de etanol contido na gasolina obtidos por meio dos das estruturas supracitadas, foi desenvolvida uma Interface Humano-Máquina (IHM) utilizando o LabVIEW.

5.5 Ambiente Gráfico LabVIEW

O programas criados em LabVIEW são chamados de Virtual Instruments (VIs), por serem similares aos instrumentos físicos de bancada rotineiramente utilizados, tais como osciloscópios e fontes. Uma VI é composta por 3 partes principais: o painel frontal; o diagrama de blocos; e o painel de ícones.

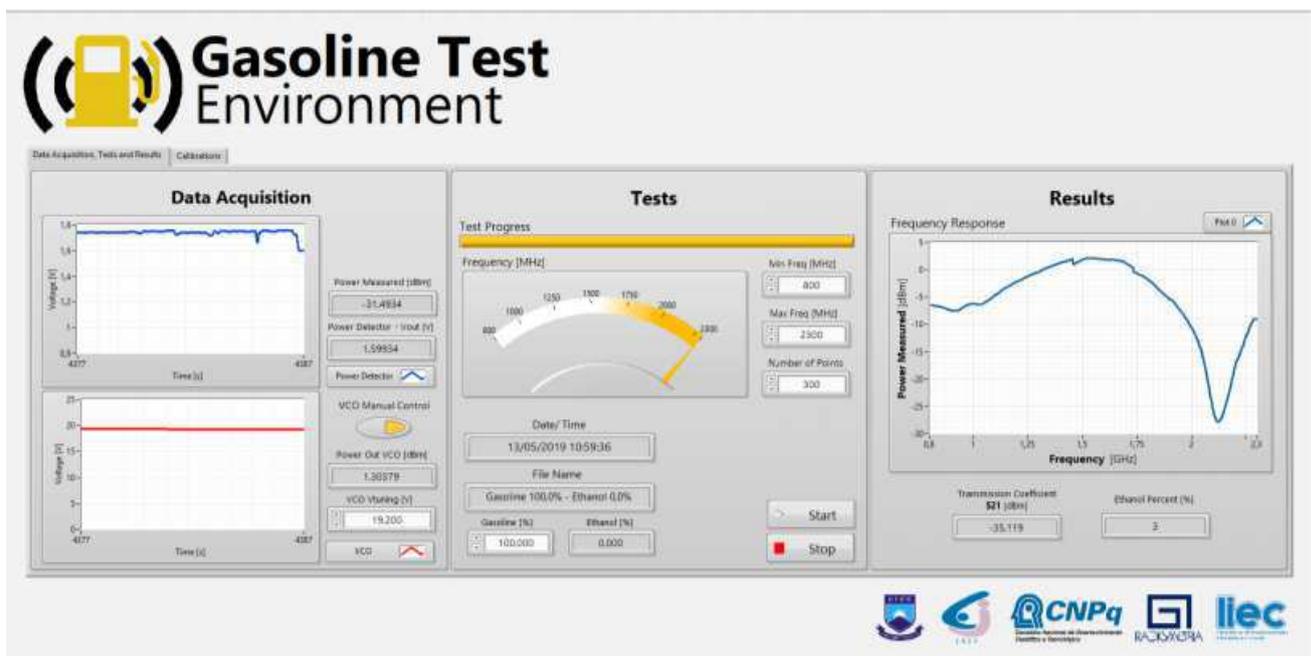
O painel frontal é a IHM da VI que irá interagir diretamente com o usuário, simulando o painel de um instrumento convencional. É no painel frontal que o usuário irá realizar o controle de dispositivos de hardware, analisar os dados adquiridos e visualizar resultados.

No painel frontal é possível incluir objetos de controle (entradas do usuário), como

botões, chaves e potenciômetros, que fornecem informações ao diagrama de blocos da VI, além de objetos indicadores, como *displays*, gráficos e medidores, que mostram os dados adquiridos ou gerados pelo diagrama de blocos.

O diagrama de blocos corresponde à programação da lógica do painel frontal, de modo que os controles e indicadores presentes neste aparecem como terminais no diagrama de blocos.

Figura 20 – Interface Humano-Máquina desenvolvida no LabVIEW.



Por fim, o painel de ícones é uma ferramenta que permite modificar a representação gráfica de VI, com seus terminais de entradas de saídas, de forma que a mesma possa ser utilizada como uma subVI dentro de uma outra VI.

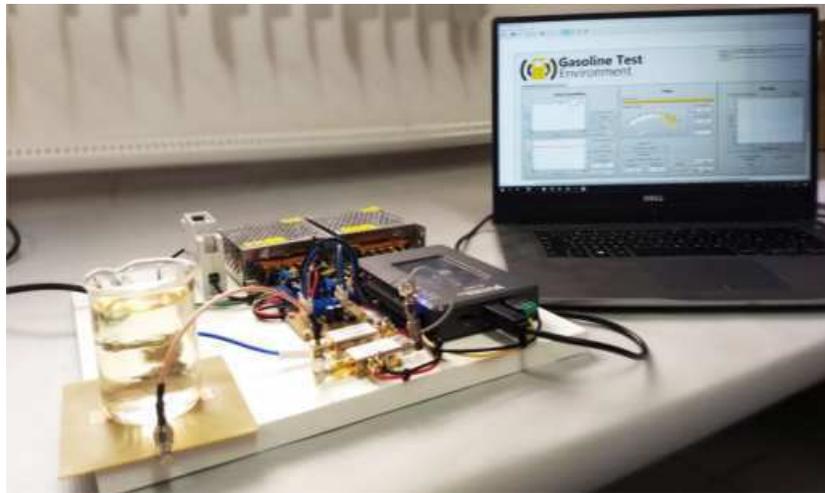
A interface desenvolvida no LabVIEW (Figura 20) foi utilizada para exibir informações do teste relevantes ao usuário, além de ser o canal operacional de preparação e inicialização do teste de quantificação do percentual de etanol contido na gasolina.

6 Integração do Sistema e Resultados

6.1 Caracterização do VCO com o Ressonador

Após a caracterização do sensor nas seções anteriores e verificação do comportamento característicos do VCO e do Detector de Potência em *datasheet*, todas as partes foram integradas e os resultados analisados. O setup de medição final do projeto pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 – Setup de Medição do Projeto.



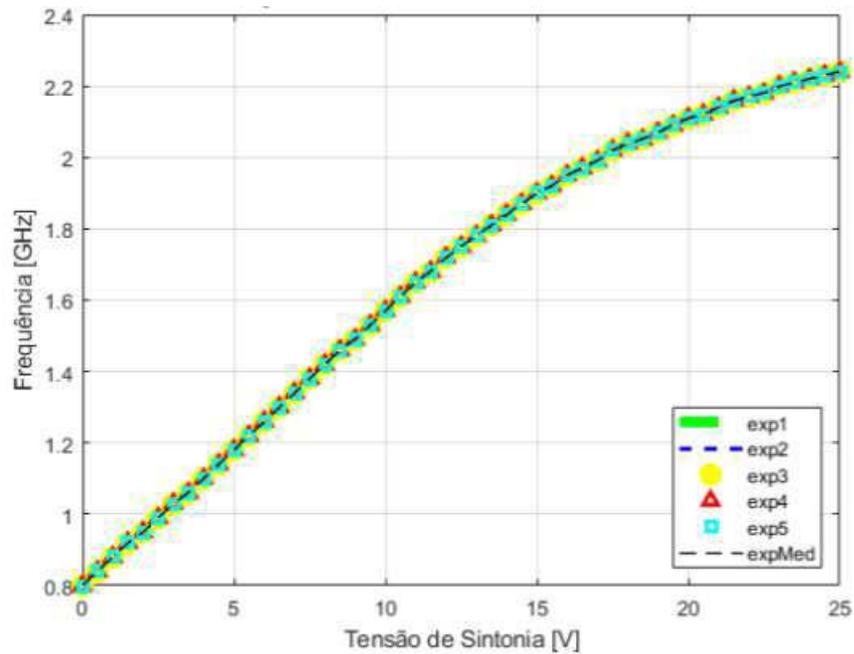
Fonte: Próprio Autor.

Dado que o ressonador precisa em sua entrada um sinal em radio-frequência, a atuação do VCO precisa ser caracterizada para se determinar as tensões de sintonia para cada frequência.

O teste consistiu em variar a tensão de sintonia do VCO utilizando-se uma fonte de bancada e observar o comportamento da potência de saída por meio de um analisador de espectro. O resultado obtido está na Figura 22.

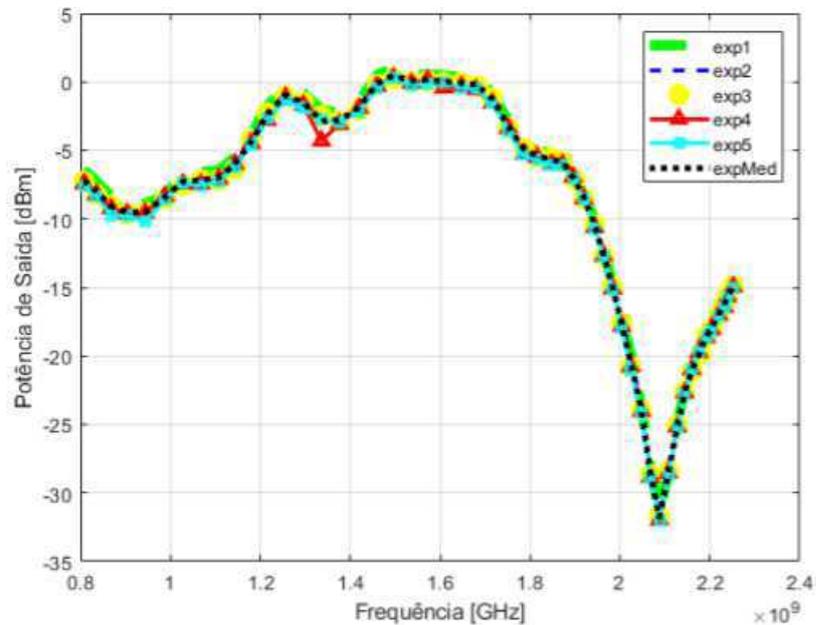
Com o objetivo de verificar o comportamento do Ressonador para o sinal de entrada gerado pelo VCO, foi realizado o teste de caracterização do sistema composto apenas pelo VCO e o Ressonador (Figura 23). Nesta montagem foram utilizados: o VCO; uma fonte de bancada sendo utilizada para alimentar o VCO e gerar o sinal de sintonia; adicionalmente o ressonador; o analisador de espectro conectado à saída do ressonador; e um multímetro de bancada.

Figura 22 – Variação da Frequência a partir da Tensão de Sintonia.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 23 – Curvas de caracterização do VCO e Ressonador. Variação de Potência na saída a partir da variação de Frequência do VCO.



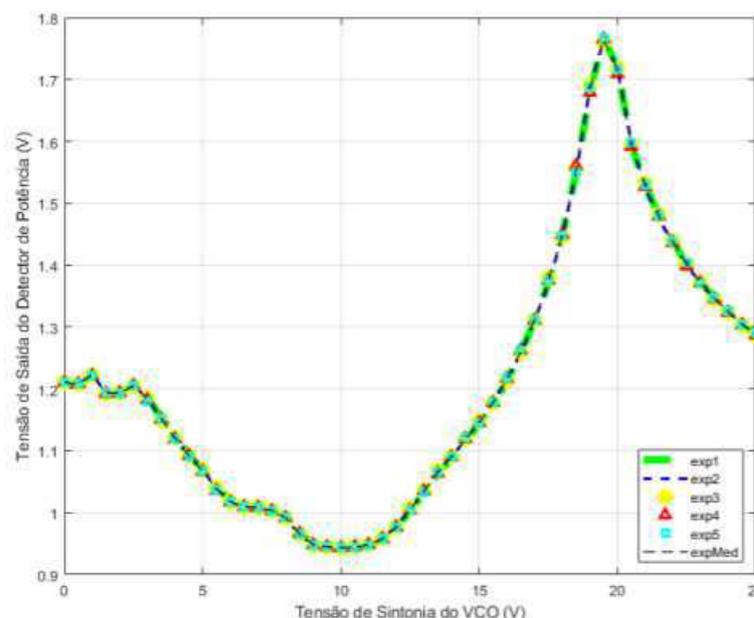
Fonte: Próprio Autor.

O resultado obtido permite inferir que a curva está seguindo o esperado, segundo os resultados da caracterização do sensor, com frequência central em aproximadamente 2 GHz.

6.2 Caracterização do VCO, Ressorador e Detector de Potência

Por fim, se faz necessário saber a tensão na saída do detector de potência após ser inserido o sinal de entrada, através do VCO, no ressoador. Os resultados para este ensaio estão ilustrados na Figura 24.

Figura 24 – Curvas de caracterização do VCO, Ressorador e Detector de Potência em conjunto



Fonte: Próprio Autor.

Dada a validação desta etapa, o próximo passo consistiu em mapear os valores de tensão na saída do detector de potência para a potência correspondente ao coeficiente de transmissão.

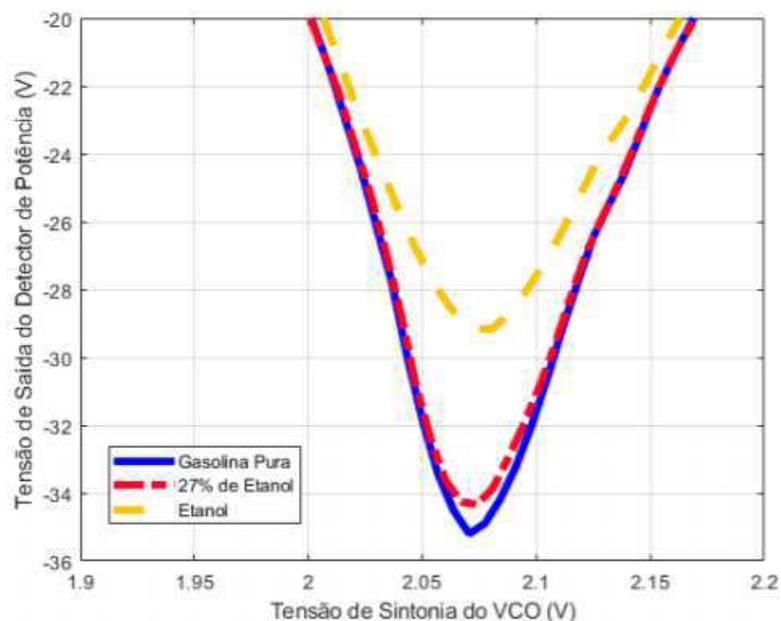
6.3 Integração do Sistema

Para os testes de integração do sistema, foram observadas as respostas do coeficiente de transmissão para cada tipo de combustível a ser analisado. Os resultados dos testes foram devidamente tratados e os resultados foram utilizados para determinação da estimativa do percentual de etanol na gasolina. Na Figura 25 estão representados os gráficos obtidos por meio deste experimento.

Desta forma, obtivemos os resultados esperados pelas caracterizações realizadas na Seção 5. Portanto, é possível inferir que o Ressorador de Micro-ondas Fractal de Sierpinski é adequado como sensor nesta aplicação.

Por fim, os resultados obtidos por meio desse experimento tiveram a finalidade de validar o sistema desenvolvido. Desse modo, foi fixada a tensão de sintonia do VCO que

Figura 25 – Curvas obtidas para o experimento com Gasolina, 27% de Etanol e 100% de Etanol para o sistema integrado.



Fonte: Próprio Autor.

garantissem a maior sensibilidade às mudanças dos percentuais de combustíveis, sendo esta igual a 19,2V. Então, foi salvo no sistema os valores de tensão na saída do detector para as amostras analisadas, sendo as demais porcentagens interpoladas linearmente.

Foram testados os percentuais de Etanol iguais a 0%(Gasolina Pura), 30%, 50% e 100%. Os resultados obtidos ao analisar cada amostra estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado da análise do sistema de variadas amostras do composto Gasolina-Etanol.

Tipo de Substância	Resultado Obtido
Gasolina Pura	3%
30% Etanol	30%
50% Etanol	51%
Etanol	100%

Para os experimentos referente a 50% de Etanol, a manipulação dos combustíveis foi feita artesanalmente por meio de seringa e pode ter ocasionado na alteração na mistura a ser testada final.

Já para a gasolina pura, a faixa de operação era mais restrita quando comparada à faixa entre 27% e 100% de Etanol, uma vez que a potência de saída é muito baixa, tornando o cálculo da estimativa mais sensível para pequenas variações de potência.

7 Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros

Esse trabalho consistiu no desenvolvimento de um circuito em radiofrequência como proposta de alternativa para aferição da quantidade de etanol em uma amostra de gasolina, buscando o aprimoramento do controle da qualidade desse bem de consumo amplamente utilizado.

Também foi analisado o conceito de Fractais de Sierpinski aplicados à ressoadores em micro-ondas, bem como o estudo da utilização dessas estruturas como filtros.

De forma análoga, fez parte do projeto a implementação de um sistema de aquisição de dados e interface capaz de realizar calibração e aferição das amostras com taxas de erro pequenas para um protótipo inicial.

O resultado final mostrou a viabilidade de construção de um protótipo, com funcionalidade caracterizada e possibilidade de ajuste finos, uma vez que as técnicas para medir a qualidade da gasolina dependerão da resposta e calibração das curvas obtidas do ressoador.

A elaboração desse trabalho trouxe a perspectiva de vários pontos de aprimoramento do sistema, tais como:

- Otimização do ressoador de micro-ondas quanto à sua frequência central, visando a operação na faixa de 700 KHz até 1.5 GHz, onde a diferenciação das características dielétricas da gasolina e do etanol são superiores à da faixa de 2 GHz;
- Estudo do efeito de outros compostos na resposta do sensor, como a querosene, também muito utilizada na adulteração de combustíveis (SOARES et al., 2011);
- Pesquisa de técnicas de elaboração de VCO e Detectores de Potência mais baratos para a frequência de interesse na análise;
- Equacionamento matemático da influência do etanol na constante dielétrica da gasolina;
- Análise do efeito da temperatura nas medições;
- Aperfeiçoamento do sistema de calibração;
- Implementação de um circuito capaz de conferir maior precisão ao detector de potência para pequenas potências.

Referências

- ALVES, C. M. F. S. J. *Fractais: Conceitos básicos, representações gráficas e aplicações ao ensino não universitário*. Universidade de Lisboa, 2007.
- BALANIS, C. A. *Antenna theory: analysis and design*. [S.l.]: Wiley-Interscience, 2005.
- Chen, W. et al. A novel dual-band bpf using sierpinski-based resonator for wlan. In: *2009 European Microwave Conference (EuMC)*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1393–1396.
- DARYANANI, G. *Principles of active network synthesis and design*. Wiley, 1976. ISBN 9780471195450. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=sudSAAAAMAAJ>>.
- FEDER, J. *Fractals*. [S.l.]: Plenum: New York, 1988.
- IARC. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. [S.l.]: Vol. 45: Occupational exposures in petroleum refining, crude oil and major petroleum fuels. Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 159-201, 1989.
- KOTZ, J.; TREICHEL, P.; TOWNSEND, J. *Chemistry and Chemical Reactivity*. Cengage Learning, 2008. ISBN 9780495387114. Disponível em: <<https://books.google.pt/books?id=a9emw3FvCrAC>>.
- LANE, J. C. *Gasoline and other motor fuels*. [S.l.]: In: Grayson M, Eckroth D, eds. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. New York, NY: John Wiley and Sons, 652-695, 1980.
- MANDELROT, B. B. *The fractal geometry of nature*. San Francisco, CA: Freeman, 1982. Disponível em: <<https://cds.cern.ch/record/98509>>.
- Mezaal, Y. S.; Eyyuboglu, H. T.; Ali, J. K. New dual band dual-mode microstrip patch bandpass filter designs based on sierpinski fractal geometry. In: *2013 Third International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 348–352. ISSN 2327-0659.
- MIDDELBURG, L. et al. Multi-domain spectroscopy for composition measurement of water-containing bio-ethanol fuel. *Fuel Processing Technology*, v. 167, p. 127–135, 12 2017.
- MULEY, P.; BOLDOR, D. Investigation of microwave dielectric properties of biodiesel components. *Bioresource technology*, v. 127C, p. 165–174, 10 2012.
- PACE, W. E.; WESTPHAL, W. B.; GOLDBLITH, S. A. Dielectric properties of commercial cooking oils. *Journal of Food Science*, v. 33, p. 30 – 36, 08 2006.
- POZAR, D. M. *Microwave Engineering*. [S.l.]: United States: Wiley, 2011.
- SANTOS, E. J. P. Determination of ethanol content in gasoline: theory and experiment. *Proceedings SBMO/IEE MTT-S IMOC*, 2003.

SOARES, I. P. et al. Avaliação da eficiência das técnicas ESI-MS e ATR/FTIR na determinação de adulteração de BX com querosene e óleo residual. *Química Nova*, scielo, v. 34, p. 1439 – 1442, 2011. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000800024&nrm=iso>.

Verma, S.; Rano, D.; Hashmi, M. S. A novel miniaturized band stop filter using fractal type defected ground structure (dgs). In: *2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 799–802.

WERNER, D. H.; GANGULY, S. An overview of fractal antenna engineering research. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, v. 45, n. 1, p. 38–57, Feb 2003. ISSN 1045-9243.