

ANTENA PARA DETECÇÃO DE CÂNCER DE MAMA UTILIZANDO SIMULADOR ELETROMAGNÉTICO DE ONDA COMPLETA

Thamires Furtuoso Alexandre (IC) e Edson Tafeli Carneiro dos Santos (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Câncer de mama é um dos cânceres que mais afeta mulheres no mundo, sendo o responsável por, aproximadamente, 28% de novos casos todos os anos, podendo afetar, raramente homens e garotas jovens. O exame mais utilizado para o diagnóstico é a mamografia, que de acordo com a revisão das Diretrizes para Detecção Precoce do Câncer de Mama, publicado em 2015, é o único exame que apresenta eficácia comprovada na redução de mortalidade do câncer de mama. Porém a mamografia é um exame doloroso e que possui riscos de contaminação por radiação (R. TIPA, O. BALTAG, 2004), além de possuir limitações, ele não é capaz de detectar tumores em estágio inicial e garotas mais jovens. Por conta de suas características invasivas de operação e pela ineficiência em detectar tumores em determinadas ocasiões, abriu-se um novo campo de pesquisa para métodos alternativos de detecção de câncer de mama, um deles será discutido nesse artigo. Com o uso do *software* CST STUDIO 2016, foram simulados dois *designs* de antenas *Vivaldi* pré-moldadas, e uma antena corneta cujo o modelo já existia na memória do CST 2016, a partir de análises das curvas de respostas, parâmetros, após a aplicação da transformada inversa de Fourier, foi possível estimar a distância que o tumor se encontra no corpo em referência da antena.

Palavras-chave: Câncer. Detecção. Antena.

ABSTRACT

Breast cancer is one of the most common cancer among women in the world, being responsible for about 28% new cases every year, also affecting, rarely, men and young girls. The most used exam to make a diagnostic is the mammography that according with the Guideline for Breast Cancer Early Detection, published in 2015, is the only exam that has proven effectiveness in reducing breast cancer mortality. However, it's an painful exam and offers a radiation contamination risk (R. TIPA, O. BALTAG, 2004), besides it possesses limitations, it's not able to detect tumors in an early stage and in younger girls. Because of its invasive operation and for being ineffective in detecting tumors on certain occasions, it opened a new field for searching of alternatives methods for detecting breast cancer, one of those will be discussed in this article. With the use of the *software* CST STUDIO 2016, simulations were run for two different *Vivaldi* antennas, and a horn one, that already has a model at the CST

2016 memory, by analyzing their s-parameter after applying the IFT on the curves, it was possible to figure the distance of the tumor inside the body by using the antennas as a reference.

Keywords: Cancer. Detection. Antennas.

1. INTRODUÇÃO

Mamografia é um exame médico bastante invasivo, o que resulta em algumas mulheres se recusarem a realizá-lo, por se sentirem invadidas e desconfortáveis, entretanto ele é o exame mais eficiente na detecção de câncer de mama, quando não realizado, a falta desse diagnóstico levaria ao avanço do câncer de forma acelerada, o que poderia ser evitado caso o tratamento tivesse sido iniciado em um estágio inicial.

Partindo desse ponto, começaram-se a estudar novos métodos de detecção de tumores, para que o tratamento pudesse ser iniciado mais rapidamente. Existem, atualmente, inúmeros estudos focados em antenas e o uso delas na medicina, e a quantidade e artigos sobre antenas capazes de detectar um tumor mamário não são poucos, porém há muitos tipos e modelos diferentes, o que deixa margem para maiores estudos na área. Nesse artigo será dado foco ao *design Vivaldi*, em comparação com a antena corneta que possui uma boa diretividade de sinal. No fim, será possível determinar, entre as antenas testadas, quais as que apresentaram melhor desempenho no processo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Todo processo de simulação da antena para detecção de câncer de mama foi iniciado pelo estudo da literatura necessária, através de livros como Elementos do Eletromagnetismo do Sadiku (1989), foi possível ter compreensão sobre a teoria de antenas, especificamente sobre os parâmetros “S”.

Os parâmetros “S” apresentam resultados no domínio da frequência, portanto para que seja possível obter os resultados de distância, foco dessa pesquisa, é necessário que o gráfico do parâmetro S_{11} , que representa a reflexão de um sinal pela própria antena (conhecido também como coeficiente de reflexão), seja passado para o domínio do tempo, aplica-se a função inversa de *Fourier* (IFT) para que seja possível calcular a distância que o tumor se encontra no eixo z, a partir das equações deduzidas abaixo.

Conforme Sadiku (1989):

Equações 1.1 e 1.2: Velocidade da onda; e comprimento da onda.

$$v = \lambda \cdot f \qquad v = \frac{\omega}{\beta} \qquad \lambda = \frac{2\pi}{\beta} \qquad v = \frac{s}{t}$$

Fonte: Elementos do eletromagnetismo (SADIKU, 1989)

Para nosso caso, temos a velocidade resultante de 2s, pois a distância se refere ao tempo de ida e volta para a resposta do parâmetro S.

$$\therefore 2s = v \cdot t \quad (eq \ 2)$$

A partir de um meio dielétrico sem perdas, é possível assumir que:

$$u = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$$\text{Como: } \begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_r \epsilon_0 \\ \mu &= \mu_r \mu_0 \end{aligned}$$

$$\therefore v = u = \frac{1}{\sqrt{(\epsilon_r \epsilon_0)(\mu_r \mu_0)}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon_r \mu_r}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = c \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

Levando em conta a permeabilidade relativa do corpo humano como aproximadamente 1, por conta das características diamagnéticas da água, que constitui 75% do corpo humano, obtemos:

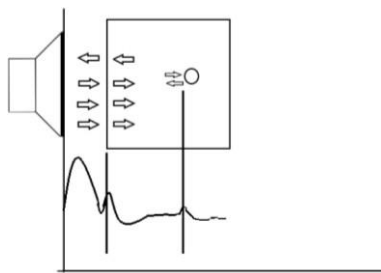
$$v = u = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{eq 3})$$

Substituindo a equação 3 na equação 2, obtemos a equação final de:

$$2s = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} t \rightarrow s = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} t$$

A partir da interpretação do gráfico resposta do parâmetro S, depois de aplicado a IFT, é possível descobrir a localização do tumor no eixo z. Isso ocorre, pois, o parâmetro S mostra a resposta ao sinal enviado pela antena.

Imagem 1: Comportamento da onda e sua resposta



Fonte: Autoria Própria

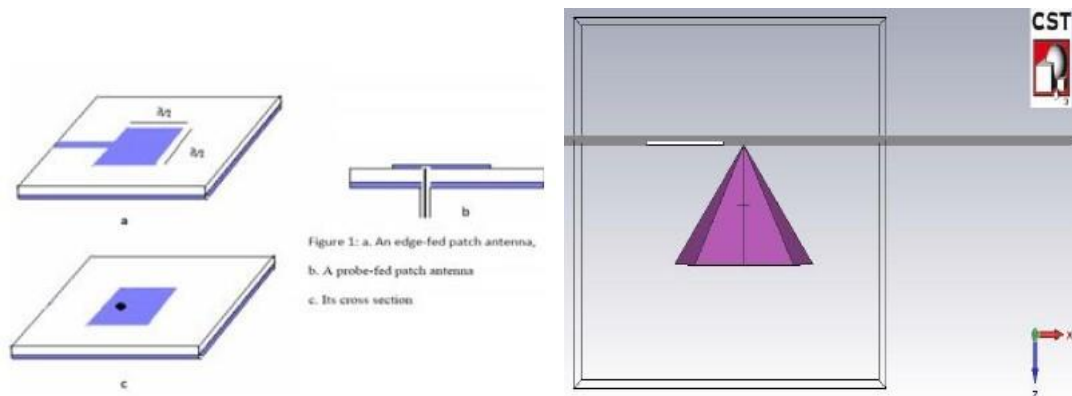
A pesquisa abordada nesse artigo foi baseada em outros estudos acerca do mesmo tema conduzidos em diferentes lugares do mundo. Na Romênia, uma pesquisa foi desenvolvida utilizando-se do método de termografia por micro-ondas (R. TIPA; O. OBALTAG; 2004), esse método consiste em iluminar o seio por várias antenas e analisar o sinal recebido para detectar e localizar tumores pequenos em estágio pré-clínico, comparando o contraste de frequência de micro-ondas entre o tecido saudável e o maligno.

[...] sabendo que os tumores malignos têm maior condutividade que àqueles que o cercam, esse método (R.TIPA; BALTAG, O, 2004) é baseado nas transmissões de corrente elétrica de baixo nível específicas dos tecidos devido a sua condutividade e permissividade específica.

(R. TIPA; O. BALTAG, 2004, tradução nossa).¹

Nesse caso, foram utilizadas diversas antenas para a detecção do tumor, e o parâmetro usado para a análise foi a condutividade. Em outro estudo, de 2017 na Índia, apenas uma antena foi necessária para realizar a simulação e a detecção do tumor, fazendo-se uso do *software* CST para desenvolver uma antena do tipo microfita de formato “T”, levando em conta as diferenças de propriedades dielétricas entre os tecidos saudáveis e cancerígenos, testes foram realizados com o uso do *software* CST. Tanto a antena microfita quanto um modelo do seio com tumor foram construídos e simulados no programa, como resultado, ambos foram detectados pela antena, e a partir das diferenças de propriedades entre eles, foi possível a identificação do tumor.

Imagem 2: Construção da antena “T” (Esquerda) e Modelo do seio com tumor (Direita)



Fonte: Gupta Et Al (2017)

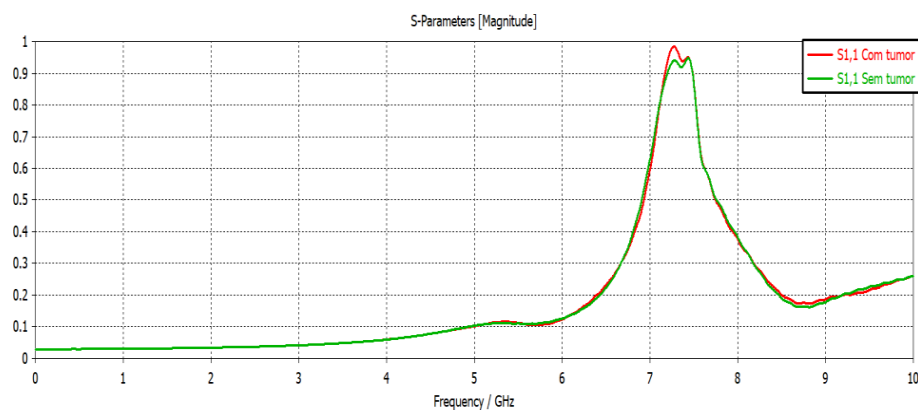
Para o estudo de modelagem de antenas no *software* CST 2016, foram utilizadas videoaulas que se encontram disponíveis *online*, nas aulas também foi tirada a inspiração para a antena utilizada nessa pesquisa, usando-se do exemplo dado em aula sobre construção de antenas, e aplicando um fim de detecção de tumores, deu-se um propósito à ela. Além das aulas e dos estudos que a graduação oferece, também foram utilizadas pesquisas sobre antenas *Vivaldi* com o mesmo propósito, de detecção de tumores de mama (AL'HABSI; ET AL. 2016).

¹ Knowing that a malignant tissue has a higher conductivity than the surrounding tissue, this method is based upon tissue specific transmission of electrical low level currents due tissue specific conductivities and permittivities.

3. METODOLOGIA

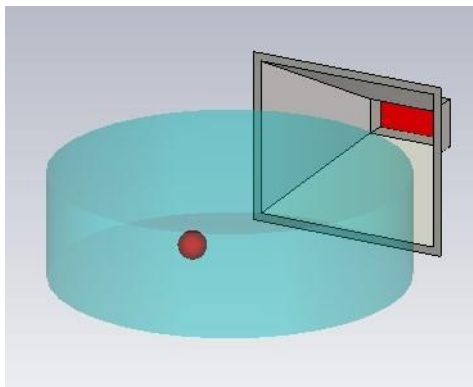
Para início das simulações, foi utilizada uma antena corneta, que o CST disponibiliza como uma das demonstrações já construídas, uma forma cilíndrica com valores de $\epsilon = 10$, $\sigma = 0.5$ e $r = 50$ mm, para representar o seio, e uma esfera de $r = 4$ mm, $\epsilon = 50$ e $\sigma = 0.7$ para representar o tumor, esse tumor nas primeiras simulações encontrava-se nas coordenadas $x=0$, $y=0$, $z=70$ mm. Foram realizadas dois testes a princípio, uma simulação com tumor e outra sem o tumor, para que fosse possível analisar as diferentes respostas através do parâmetro s , em ambas situações, como resultado, obteve-se:

Figura 1: Resposta para $dz=70$ mm



Fonte: Autoria Própria (2018)

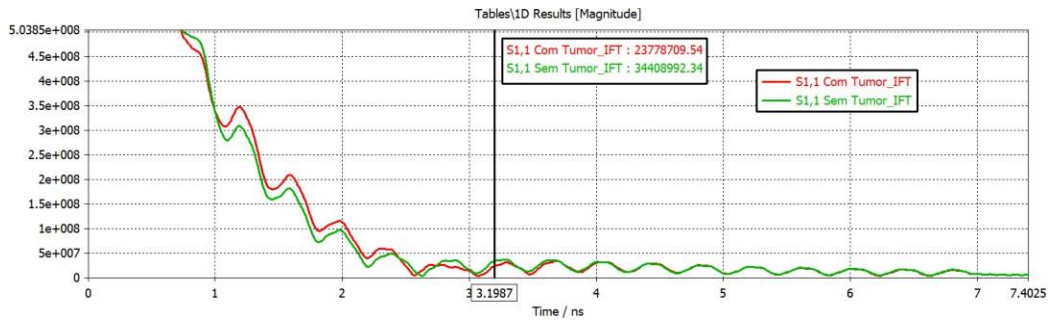
Imagem 3: Antena Corneta



Fonte: Autoria Própria (2018)

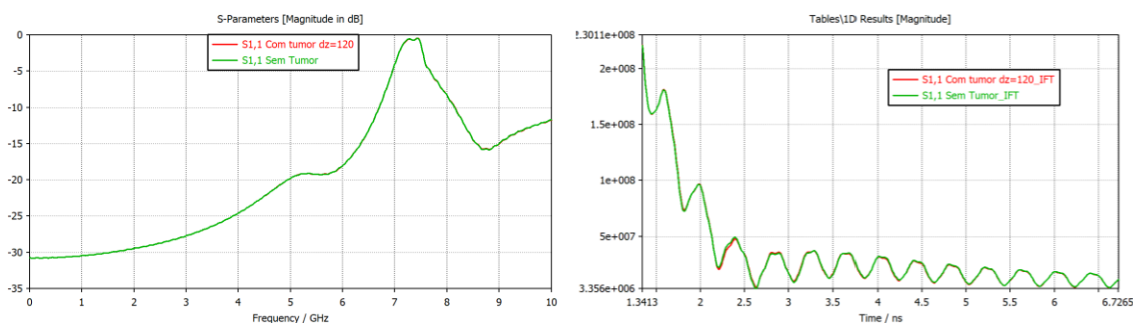
Como demonstrado na equação 1, $d = s = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} * t$, os dados obtidos por simulação são apresentados na figura 2, após a aplicação da IFT, obteve-se para o tumor localizado em $dz = 70$ mm, os valores $t = 3,2$ ns e $\epsilon_{r-TUMOR} = 50$ e ao calcular a partir da equação definida anteriormente, encontra-se o valor da distância estimada $d = 67,85$ mm, o que confere ao método credibilidade nos resultados, com um erro percentual aproximado de 3,1%.

Figura 2: Gráfico resposta após aplicação do IFT



Fonte: Autoria Própria (2018)

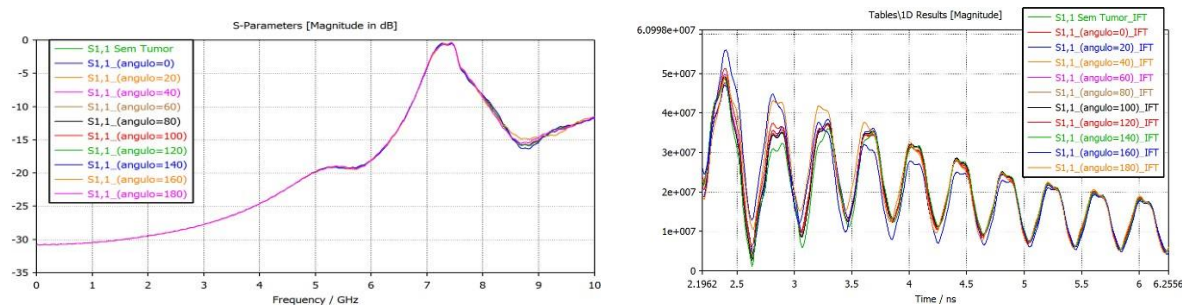
Outros testes, utilizando a mesma antena e protótipo de corpo, foram realizados, alterando o valor de dz (distância no eixo Z), para que fosse possível identificar se a antena seria capaz de localizar o tumor a uma maior distância estando ela estática. Através de testes realizados com dz em 120 mm, chegou-se à conclusão de que, as curvas, com e sem o tumor, de respostas ficaram tão próximas que seria muito difícil identificar o nódulo, conforme figura 3.

Figura 3: parâmetro s com $dz = 120$ mm (Esquerda) e Resposta após IFT aplicado (Direita)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Como não foi possível a detecção do nódulo com a antena estática em frente ao corpo por conta da distância em que ele se encontrava, foi realizada uma rotação na antena. Como no nosso caso, o corpo é simétrico, essa rotação ocorreu em 180° , a um passo de 20° , o que nos levou a 9 curvas de respostas, a partir dessa rotação, que forneceu uma visão de 9 (nove) pontos diferentes do corpo, em comparação com a curva quando o corpo está sem tumor, é possível descobrir aproximadamente o dz em que se encontra tal nódulo.

Figura 4: Parâmetro s para rotação da antena (Esquerda) e IFT sobre as curvas (Direita)

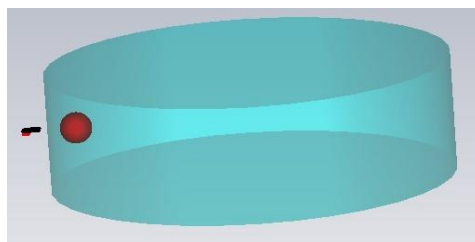
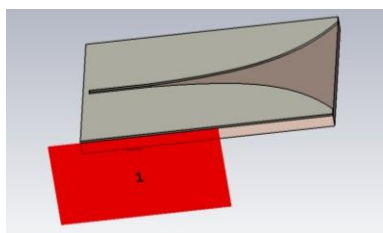


Fonte: Autoria Própria (2018)

Com os resultados obtidos a partir da rotação da antena, seria possível realizar uma reconstituição de imagem, o que faria a interpretação dos resultados muito mais prático. Porém, antes de começar o processo de imagem, a antena corneta foi trocada por uma *Vivaldi*. A troca ocorreu, principalmente por conta do alto ganho e diretividade que a antena *Vivaldi* possui, além de ser de fácil produção por, pois trata-se de uma antena plana feita em circuito impresso. Os testes foram refeitos para um nódulo de raio igual a 4 mm e um cilindro de 50 mm de raio, nesse caso o tumor foi colocado a uma distância de 12 mm de distância da antena.

A antena *Vivaldi* utilizada nessa pesquisa possui 4 mm de comprimento e 3 mm de largura, a microfita da antena com espessura de 1 mm foi colocada sobre a parte inferior da antena, suas dimensões são de 2,75 de comprimento e 0,25 de largura. O substrato utilizado foi o *Taconic RF-60A*, por conta de sua operação em alta frequência, para a microfita e o metal foi utilizado PEC.

Imagem 4: Antena *Vivaldi* simulado no CST (Esquerda) e Antena *Vivaldi* e protótipo de seio e tumor (Direita)



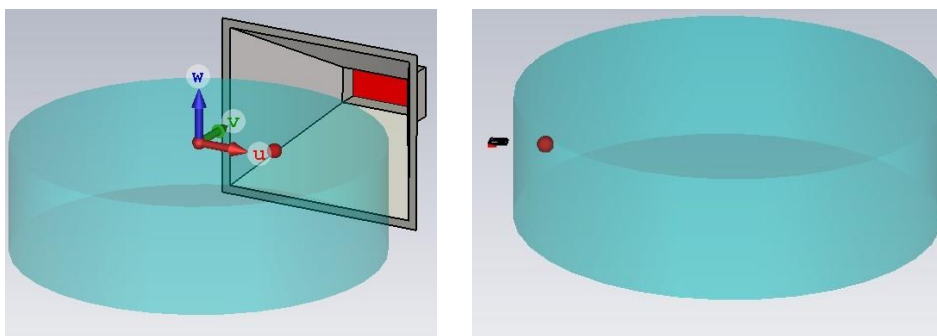
Fonte: Autoria Própria (2018)

Como resultado gráfico dessa nova fase de testes, o parâmetro S gerou uma diferença muito pequena entre as respostas dos gráficos com e sem tumor, porém quando aplicado a IFT, fica bem mais evidente a presença do tumor no corpo, sendo possível identificar a distância experimental do tumor, de 11,84 mm um resultado com erro de 1,33 %.

Com esse teste finalizado, e com a comprovação de que um tumor de raio 4 mm é identificado tanto pela antena corneta, quanto pela antena *Vivaldi*, passou-se a simular as antenas com o tumor em tamanho reduzido, no caso foi utilizado uma esfera de raio igual a 2 mm, apesar de tanto tumores com 4 ou 2 mm serem considerados tumores em estágio inicial, se detectado mais cedo melhores são as chances de sucesso na remissão do tumor, se o tratamento for iniciado a partir desse tamanho (estágio).

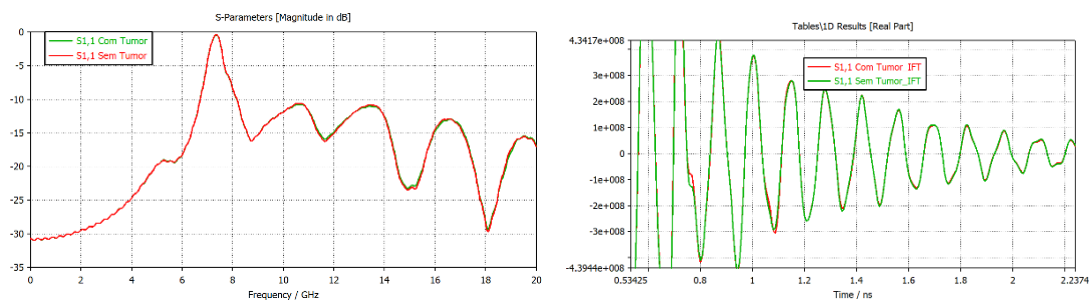
Começando pela antena corneta e depois com a *Vivaldi*, utilizando as mesmas antenas utilizadas na simulação em que o nódulo tinha um raio de 4 mm, a distância do nódulo para a antena corneta era de $dz = 60$ mm de sua porta de excitação, para antena *Vivaldi* $dz = 12$ mm, e para ambas o corpo não foi rotacionado, apenas foram aplicados os processos anteriores, primeiro a antena foi simulada sem o tumor, e depois com o tumor, para a comparação entre os parâmetros- S , e enfim a IFT para que os resultados pudessem ser analisados no domínio do tempo. Como é possível observar nos resultados abaixo, não foi possível identificar o tumor em nenhuma das duas antenas. No caso da corneta, ainda foi possível observar uma leve distorção entre as curvas, porém essa distorção é tão mínima que em situações não simuladas, facilmente passaria por ruído. Já no caso da *Vivaldi*, não foi detectado nenhuma alteração, tornando ambas as antenas ineficazes para detecção de tumores menores.

Imagem 5: Antenas corneta (Esquerda) e *Vivaldi* (Direita) com tumor de $r = 2$ mm



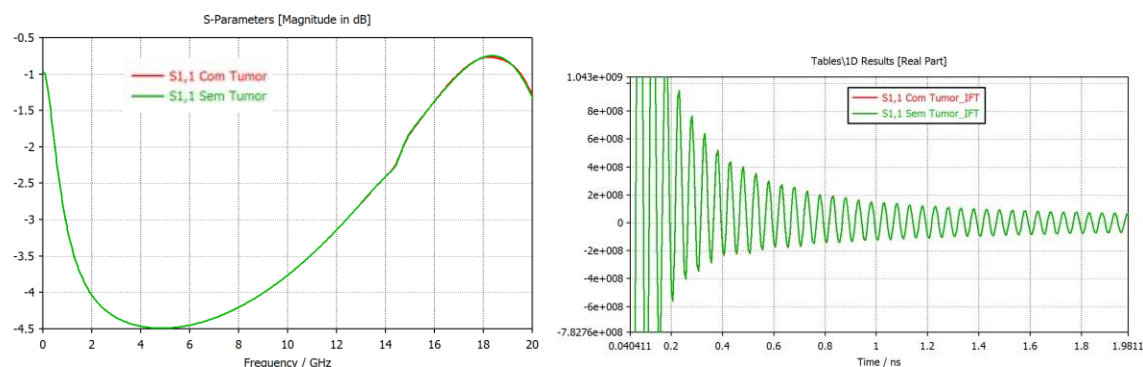
Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 5: Parâmetro S (Esquerda) e IFT para a antena corneta (Direita)



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 6: Parâmetro S (Esquerda) e IFT (Direita) para a antena Vivaldi



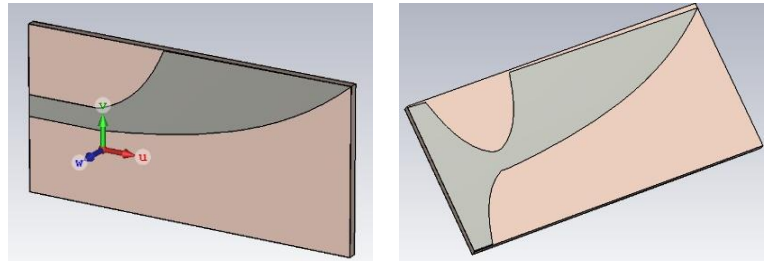
Fonte: Autoria Própria (2019)

A partir desses resultados insatisfatórios, foi decidido testar outro tipo de antena, como a *Vivaldi* oferece maior diretividade e possui outros *designs* que poderiam ser utilizados, foi testada uma antena *Vivaldi* antipodal, que possui dimensões maiores que a anterior. As dimensões dessa antena são de 32 mm de comprimento, 15,5 mm de largura e 0,8 mm de espessura. Seguindo as situações anteriores, as simulações com essa antena também ocorreram em um modelo de seio cilíndrico de 50 mm de raio e uma esfera de 4 mm de raio representando o nódulo. Em seguida, por motivos descritos abaixo, foram realizados os mesmos ensaios para um nódulo de 2 mm. Em ambas situações o nódulo foi colocado à uma distância de 40 mm no eixo X, assim como nas simulações anteriores.

Essa antena demonstrou certos problemas na detecção do tumor, tanto na simulação do nódulo com raio igual a 4 mm quanto com o raio de 2 mm, através da comparação entre o parâmetro S do corpo com e sem tumor, é possível identificar a presença de um “corpo” estranho dentro do protótipo do seio, porém quando aplicado o IFT nos gráficos respostas, nas duas situações a distância experimental não se aproximaram do valor arbitrado para posição inicial com a distância original, em ambos os casos a distância experimental resultou em aproximadamente 32 mm, o que poderia indicar que a antena estaria medindo seu próprio

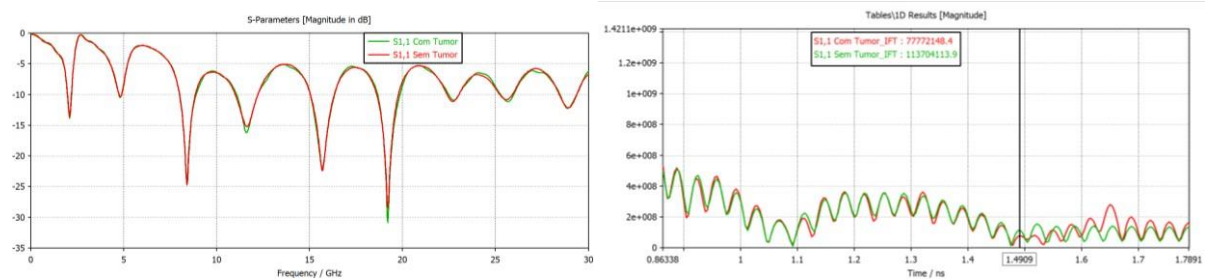
comprimento. Para que fosse comprovado esse caso, o nódulo foi afastado para 50 mm ao invés de 40 mm, como estava anteriormente, e todos os testes foram refeitos, o resultado novamente foi de uma distância experimental de aproximadamente 33 mm. Dessa forma a antena não detectou nenhuma diferença entre o corpo com e sem tumor, gerando duas curvas idênticas, o que desqualificou essa antena para os fins necessários a essa pesquisa

Imagem 6: Antena *Vivaldi* Antipodal frente e verso



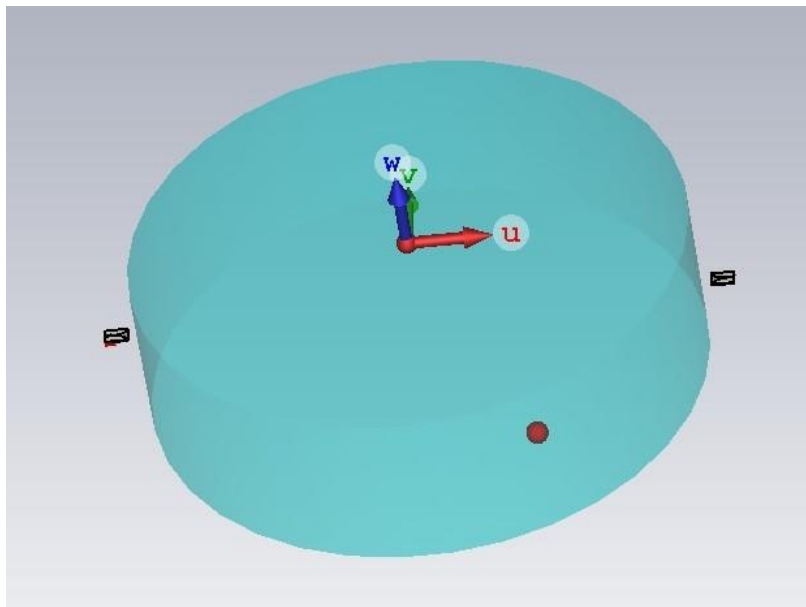
Fonte: Autoria própria

Figura 7: Parâmetro S para $r = 4$ mm (Esquerda) e IFT para $r = 4$ mm (Direita)



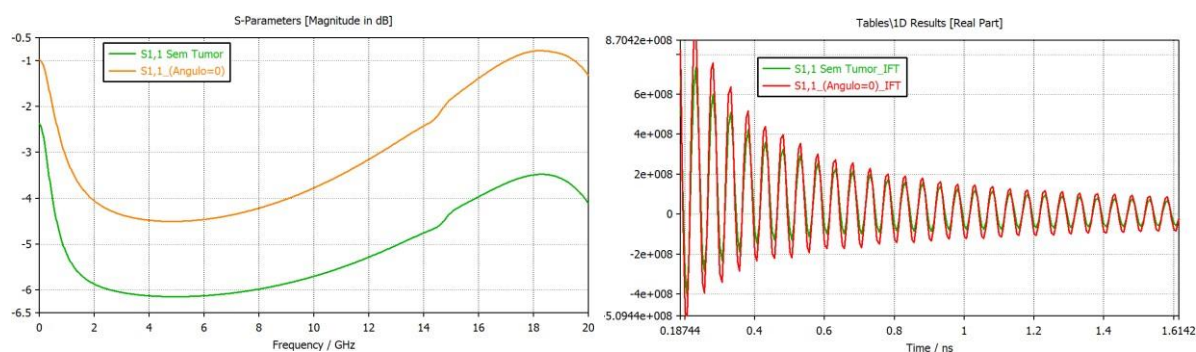
Fonte: Autoria própria

Como não foi possível a identificação do nódulo de $r = 2$ mm com apenas uma antena *Vivaldi* em ambos modelos, nem com a corneta, os testes foram novamente realizados com duas antenas, uma oposta a outra e aplicado uma rotação de 180° à simulação, com a intenção de melhorar a identificação do tumor. Apesar da adição de mais uma antena, o que poderia oferecer um retorno melhor de sinal, não foi possível a detecção do tumor.

Imagem 7: Duas antenas *Vivaldi* opostas

Fonte: Autoria própria

Figura 8: Parâmetro S com duas antenas (Esquerda) e IFT com duas antenas (Direita)



Fonte: Autoria própria

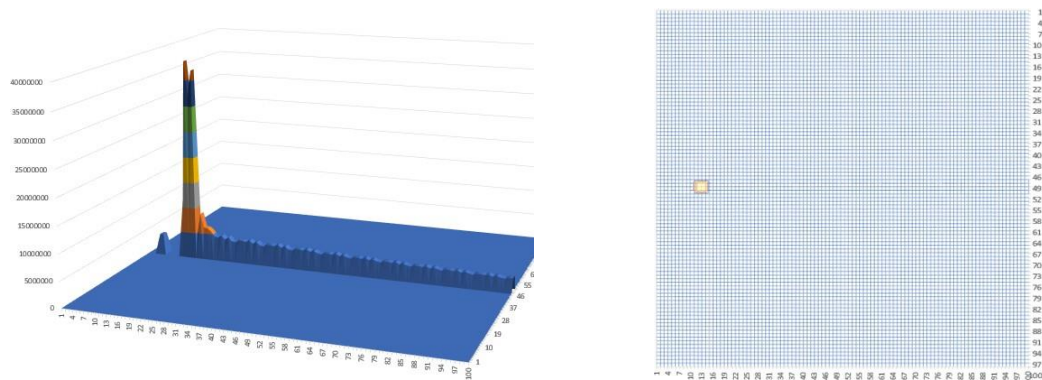
4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos, foi possível observar que a *Vivaldi* ofereceu maior eficiência que a antena corneta, apesar de seu pequeno tamanho, por conta disso, foram com os resultados dela que se deu início à reconstituição de imagem do tumor. A representação das curvas através de imagens facilitaria o trabalho de identificação durante as simulações e posteriormente por parte médica.

Para a reconstituição de imagem, do CST foram extraídos todos os dados do gráfico com IFT em formato de tabela, cada passo de “grau” gera um gráfico diferente, portanto quando a antena rotacionar em 180° a um passo de 20° , teremos 9 (nove) gráficos diferentes e portanto 18 banco de dados para serem extraídos (9 com tumor e 9 sem tumor, um para

cada ângulo), os dados extraídos são gerados em um arquivo de bloco de notas com o valor da intensidade e seus respectivos tempos. Com o uso do *Matlab* aplicou-se sobre todos pontos de tempo das curvas (com tumor e sem tumor) a equação de distância definida anteriormente, o que resultou em pontos de distância em relação à intensidade, a partir desses novos dados, foram inseridos manualmente os resultados calculados em uma matriz 100 x 100 no *Excel*, a matriz foi usada como uma representação do corpo em uma forma retangular com dimensões aproximadas dos 100 mm de diâmetro do seio modelo, cada milímetro do seio modelo foi representado por uma célula do *Excel*. Como cada distância representava uma intensidade diferente, tirou-se a média sobre as intensidades que eram representadas por distâncias próximas, para que fosse possível obter apenas um valor para cada milímetro do corpo, assim tendo 100 valores de intensidade para cada caso (com e sem tumor), subtraiu-se dos valores “com tumor” os “sem tumor” para que sobrasse apenas a intensidade representativa do nódulo, após, deu-se início ao preenchimento da matriz, seguindo a localização estimada que havia sido calculada. Com a matriz preenchida completamente com os dados, foi gerado um gráfico em três dimensões dessa matriz, o que possibilitou a identificação do tumor em meio ao corpo.

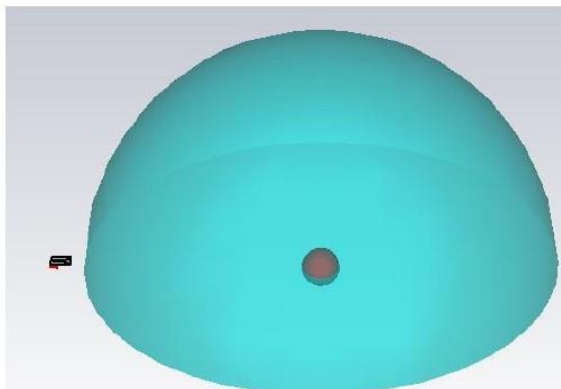
Imagem 7: Dois ângulos diferentes para a geração de imagem



Fonte: Autoria Própria (2019)

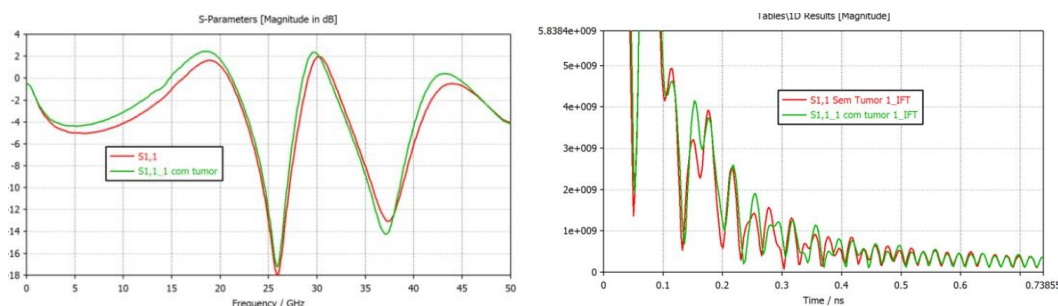
Obviamente que um seio não tem o formato de um cilindro, portanto para que as simulações ficassem um pouco mais próximas da realidade, a antena *Vivaldi* foi mais uma vez simulada, dessa vez em uma semiesfera, o tumor, com raio de 4 mm foi colocado no centro do modelo, há aproximadamente 46 mm de distância da antena, eliminando o raio do nódulo. A antena identificou o tumor a uma distância de 46,67 mm, um erro de 1,4 %, garantindo sua efetividade novamente.

Imagem 8: Antena e corpo semi-esférico



Fonte: Autoria própria

Figura 8: Curva Parâmetro s e IFT aplicada



Fonte: Autoria Própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A antena *Vivaldi* apresentou maior eficiência na identificação do tumor, com um erro minimizado em comparação com a antena corneta, apesar dos erros não serem tão discrepantes, quanto maior o índice de assertividade, mais eficaz se tornaria o tratamento, além de que com o uso de duas antenas *Vivaldi*, garantiu-se a identificação de um nódulo com 2 mm de raio, e quanto mais cedo o tumor for encontrado, maiores as chances de um tratamento eficaz.

Para pesquisas futuras, seria mais eficiente uma antena que atue em um intervalo menor de frequência, a *Vivaldi* utilizada nessa pesquisa, apesar de sua eficiência em identificação, conseguiu esses resultados por conta da alta frequência em que ela atua, de 0 – 50 MHz. Uma implementação a ser sugerida seria a automatização do processo de geração de imagem, já existem métodos com o uso do *Matlab*, porém nessa pesquisa a imagem foi gerada de forma manual, o que atrasa o resultado e sua análise.

São muitos os fatores que podem atrapalhar a identificação de um tumor, nesse caso, o nódulo foi identificado em meio a um corpo sem interferência, porém em situações reais o corpo possui diferentes permissividades e condutividades no mesmo membro, portanto seria necessário a adição de obstáculos e de falsos positivos para testar a eficácia da antena em identificação com a presença de obstáculos, assim como foi realizado no estudo de S. A AlShehri (2011), que posteriormente, no mesmo estudo, realizou simulações reais com um modelo do seio.

No caso dessa pesquisa, futuramente, seria necessário testar a efetividade da antena com testes mais reais, realizando-os em laboratório, com o uso soluções que possuem características próximas ao do tumor simulado, assim como foi feito no trabalho de Torrealba-Melández (2014).

6. REFERÊNCIAS

ALHABSI, Samira; ARUZAIQI, Thuraiya; ALHADHARAMI, Khalid. Development of Antenna for Microwave Imaging Systems for Breast Cancer Detection. **Journal Of Molecular Imaging & Dynamics**, Oman, v. 06, n. 02, p.1-5, 2016. OMICS Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9937.1000128>.

BRASIL.INCA.. **MAMA**. Disponível em: http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/tiposdecancer/site/home+/mama/cancer_mama . Acesso em: 25 fev. 2018.

BRASIL.INCA.. **MAMA**. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/controle-do-cancer-de-mama/acoes-de-controle/deteccao-precoce>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

CST. **CST STUDIO SUITE – Eletromagnetic Field Simulation Software**.

GUPTA, Hemant Kumar; SHARMA, Raghvendra; THAKRE, Vandana Vikash. **Breast Cancer Detection by T-Shaped Slotted Planner Antenna**. India, 2017.

R.TIPA; BALTAG, O.. Microwave Thermography For Cancer Detection. In: INTERNATIONAL BALKAN WORKSHOP ON APPLIED PHYSICS, 5., 2004, Constanta. **Thermography, microwave, cancer detection**. 2004. p. 371 - 377.

S. A AIShehri, S Khatun, A. B. Jantan, R. S. A. Raja Abdullah, R. Mahmud, and Z. Awang. **3D Experimental Detection and Discrimination of Malignant and Benign Breast Tumor using nn-based UWB Imaging System**. *Progress in Electromagnetics Research*, VOL 116, 2011. Pp. 221-237.

SADIKU, Matthew N. O.. **Elementos de Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 1989.

TORREALBA-MELÉNDEZ, Richard; OLVERA-CERVANTES, José Luis; CORONA-CHÁVEZ, Alonso. **UWB Microwave Radar Imaging for Detection and Discrimination of Benign and Malignant Breast Tumors Using Circularly Polarized Antennas**. Mexico, 2014.

UNAL, Ilhami; TURETKEN, Bahattin; SURMELI, Koray. **An Experimental Microwave Imaging System for Breast Tumor Detection on Layered Phantom Model**. 2011. 2 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Electrical And Electronic Engineering, Yeditepe University, Istanbul, 2011.

Contatos: thamiresfa@yahoo.com.br e edson.santos@mackenzie.br