

**SENSORES MICRO-ONDAS PARA DETECÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA**Talles Henrique Silva Morais<sup>1</sup> (IC), Diego Camilo Tami López (PQ)<sup>1</sup><sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá - Campus Theodomiro Carneiro Santiago.

e-mails: d2022003871@unifei.edu.br, diegotami@unifei.edu.br

Este trabalho estuda dois sensores micro-ondas para detecção de vazamento de água, apresentados na literatura, e aperfeiçoa uma antena através de um *Defected Ground Structure* desenvolvido na literatura com parâmetros otimizados por meio de um algoritmo genético e um aumento do substrato do sensor. Os sensores foram simulados tanto em meios convencionais como o ar, mas também em situações de solo molhado com tubos de PVC com água.

Palavras-chave: Sensor micro-ondas. Defected ground structure. Algoritmo genético.

**Introdução**

Sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgoto são fundamentais no cotidiano e possuem impacto direto na qualidade de vida daqueles atendidos pelos mesmos. No Brasil, o sistema hídrico de abastecimento sofre de perdas drásticas, chegando a valores de 37% de perdas na distribuição, conforme [1], o que aumenta o custo da água, fazendo com que o maior afetado seja o consumidor visto que as perdas são refletidas para tal.

Um dos fatores responsáveis pelas perdas são os vazamentos alocados como uma perda física do sistema, e que demanda uma manutenção para corrigi-la. Contudo, a tubulação que distribui o recurso hídrico possui acesso complexo, como em casos de dutos subterrâneos, dificultando a manutenção. Na maioria dos casos, a localidade do vazamento nem é conhecida, o que praticamente inviabiliza a escavação pois, caso seja realizada no local incorreto, aumenta ainda mais a perda financeira da empresa prestadora do serviço de distribuição. O mesmo pode ocorrer em residências que podem possuir vazamentos em paredes e, caso permaneçam, podem mofar e danificar as estruturas das casas ou prédios.

Para detectar esses vazamentos, uma técnica conhecida por Radar de Penetração do Solo, ou do acrônimo em inglês GPR, Ground Penetration Radar, foi proliferada em alguns locais por ser não invasiva e não necessitar de horários específicos para as detecções como é o caso dos hidrofones, [2]. Outra vantagem dos

GPRs se dá pela possibilidade de se detectar vazamentos em tubulações não metálicas, que constituem a maior parte das tubulações. O princípio de funcionamento são através de ondas contínuas (CW), ou modulação de frequência de banda-larga com onda contínua (FM-CW), que são transmitidas por uma antena sobre o local do vazamento e recebidas de volta por um sensor, que pode ser a própria antena utilizada. Caso seja do interesse do autor, recomenda-se as leituras de [3] e [4].

Este trabalho propõe a construção e aperfeiçoamento de um sensor operando na frequência de micro-ondas para a detecção de vazamentos de água em sistemas de radar de penetração do solo, além da comparação de antenas já existentes na literatura.

**Metodologia**

Neste trabalho, foram estudadas antenas de dois autores. A antena "Balanis" baseou no livro [5], que possui uma configuração de *rectangular patch* que é amplamente utilizada pela sua simplicidade. O processo de design da antena consta primeiro com a especificação da frequência de ressonância,  $f_r$ , na constante dielétrica do substrato,  $\epsilon_r$ , e por último, a altura do substrato,  $h$ . Para o trabalho, utilizou-se uma frequência de ressonância de 2,45GHz, que permeia a frequência de micro-ondas. Para o substrato utilizou-se o FR-4, pela sua abrangência no mercado, e seus parâmetros são de  $\epsilon_r = 4,3$  e  $h = 1,6mm$ . Com estes valores, calculou-se por meio das Equações 1, 2 e

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

3 as medidas que dizem respeito ao formato da antena, conforme Figura 1.

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

$$\Delta L = 0,412h\frac{(\epsilon_{reff} + 0,3)(\frac{W}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{reff} - 0,258)(\frac{W}{h} + 0,8)} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (3)$$

sendo que  $\epsilon_{reff}$  é um valor efetivo da constante dielétrica do substrato em baixas frequências, e é medido por  $\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} [1 + 12\frac{h}{W}]^{-1/2}$ , conforme [5].

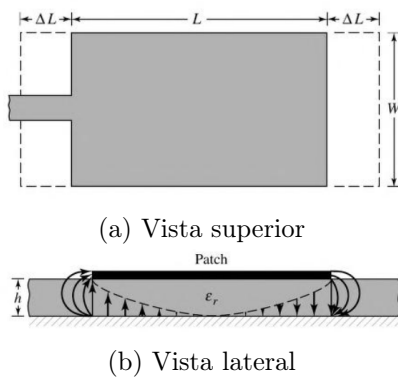


Figure 1: Modelo de antena simples rectangular patch. Figura retirada de [5].

A antena de Balanis conta também com uma ranhura de tamanho  $y_0$ , que depende intrinsecamente da resistência de entrada da antena. Feita uma manipulação na equação presente no livro, encontrou-se que

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \arccos\left(\sqrt{\frac{50}{R_{in}}}\right) \quad (4)$$

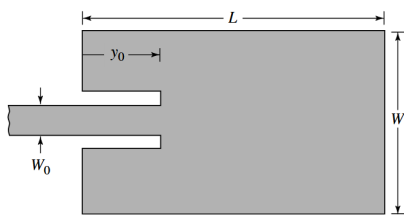


Figure 2: Estrutura da antena com a ranhura implementada. Figura retirada de [5].

Foi estudada outra antena da literatura, construída com fins práticos, para detecção de vazamento de água e pessoas soterradas, do autor Bimpas, apresentado em [6]. A estrutura física da antena se encontra na Figura 3, e possui características mais complexas, utilizando um formato E e sua alimentação se dá por um cabo axial conectado perpendicularmente ao plano terra. O processo de construção da antena é descrito pelos autores em sua referência.

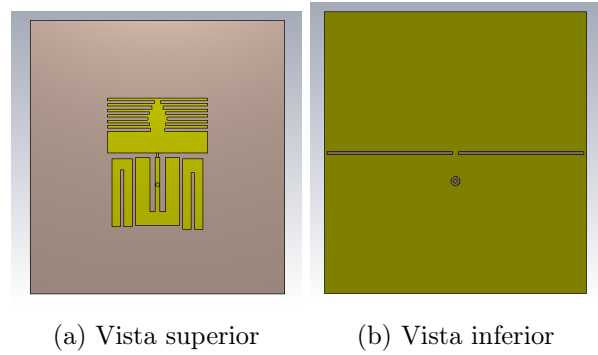


Figure 3: Estrutura física da antena Bimpas, dimensões seguem conforme referência. Autoria própria.

Ambas as antenas foram simuladas utilizando o *software CST*. Foi testado a condição de cada uma frente à diversos tipos de cenários, como a transmissão em ar puro, depois em solo e por ultimo em solo com tubulação. Os resultados são apresentados na seção consecutiva.

## Resultados e discussão

Seguindo as Equações 1, 2, 3 e 4, os parâmetros encontrados para a antena de Balanis foram  $W = 37,593$ ,  $\Delta L = 0,7410$  e  $L = 29,145$ , para  $y_0$  foi encontrado um valor de  $10,787mm$ . Os resultados foram satisfatórios, com a frequência de atenuação no ponto desejado. Para a antena Bimpas, seguiu-se a construção da antena proposta pelo autor.

No caso da antena Balanis, foi estudado uma forma de se melhorar a antena como contribuição da pesquisa. Foi implementado um

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

*Defected Ground Surface* na antena que posteriormente era simplesmente preenchida. O DGS utilizado é um *slot* simples apresentado em [7], em um formato de haltere, com dois quadrados laterais e uma linha que os une. Os parâmetros desta deformidade, representados na Figura 4, foram obtidos por meio de um algoritmo genético, de forma a aperfeiçoar o circuito *LC* equivalente fazendo com que a frequência de ressonância seja a de 2,45GHz. Os valores estabelecidos pelo algoritmo foi de  $a = b = 1,5mm$ ,  $g = 0,5mm$  e o parâmetro  $w$  foi estabelecido para  $3mm$ . Por fim, adicionou-se um deslocamento de  $10mm$  nos eixos  $x$  e  $y$  do substrato, substituindo a distância  $\Delta L$  proposta pelo autor e colocando este mesmo deslocamento em  $W$ .

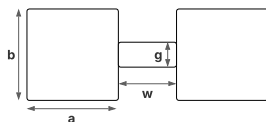


Figure 4: DGS implementado na antena Balanis em formato Dumbbell. Autoria própria.

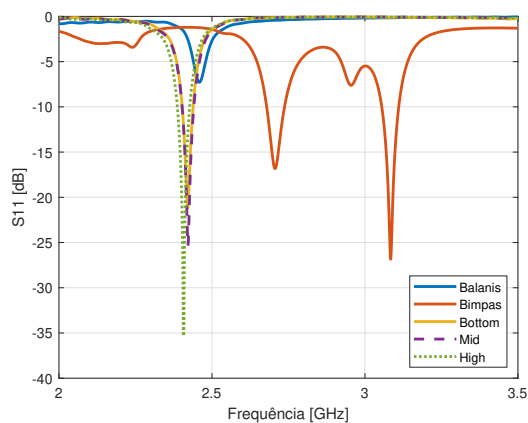


Figure 5: Gráfico do coeficiente de reflexão,  $S_{11}$ , para as antenas da literatura e as modificadas, transmitindo pelo ar. Autoria própria.

O posicionamento do DGS foi estudado em três situações para verificação de qual posição era mais satisfatória. As três situações estudadas foram com o slot no centro da antena, aproximadamente à  $24,6mm$  de distância da borda inferior da antena, nomeado de *High*, um

pouco abaixo do centro, à  $14,6mm$  de distância da borda inferior, nomeado *Mid* e uma na região mais inferior da antena, à  $7,57mm$  de distância da borda inferior, nomeado *Bottom*. Os resultados obtidos para cada situação são demonstrados nas Figuras 5 e 6.

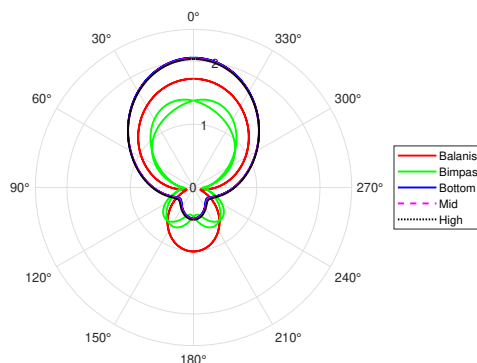


Figure 6: Comparativo do diagrama de radiação da diretividade com  $\phi = 0$ , variando em  $\theta$ , na escala logarítmica, para cada antena com slot em posições diferentes, com transmissão ao ar. Autoria própria

Para uma comparação numérica, a Tabela 1 apresenta os valores das frequências de atenuação e os valores em dB para cada antena apresentada.

Table 1: Tabela de valores para todos os tipos de antenas estudados.

Antena	Frequência de ressonância [GHz]	$S_{11}$ [dB]
Balanis	2,46	-7,29
Bimpas	3,08	-26,8
Bottom	2,42	-21,2
Mid	2,42	-25,4
High	2,41	-35,4

Foi feito uma simulação das antenas em um caso de solo molhado com uma tubulação de PVC com água, de diâmetro de  $13mm$  à uma distância de aproximadamente  $80mm$ . A antena não está conectada ao solo, com uma distância de  $20mm$ . Os parâmetros de constante dielétrica e condutividade do solo molhado foram obtidos de [8] para uma melhor comparação. Os resultados se encontram nas Figuras 7 e 8.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

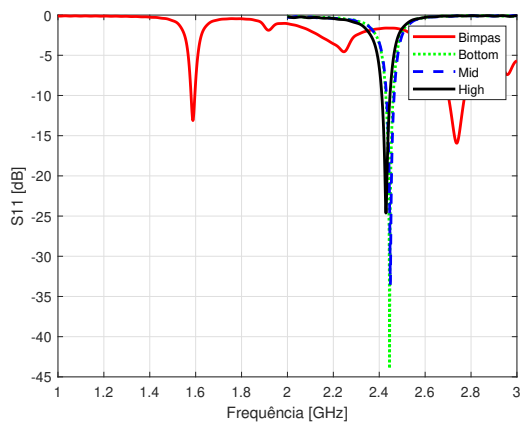


Figure 7: Gráfico do coeficiente de reflexão,  $S_{11}$ , para antenas Bimpas e modificadas, transmitindo para o solo molhado. A antena Balanis original não permite transmissão em 2,45GHz neste meio. Autoria própria.

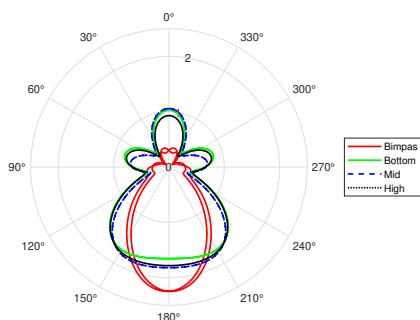


Figure 8: Comparativo do diagrama de radiação da diretividade com  $\phi = 0$ , variando em  $\theta$ , na escala logarítmica, para cada antena com slot em posições diferentes, transmitindo para o solo. Autoria própria

### Conclusões

Percebe-se que a posição dos slots influencia na atenuação da antena, onde na posição High houve maior atenuação no ar, enquanto que na simulação de solo molhado, o Bottom prevaleceu. Percebe-se que as frequências de atenuação foram atendidas, principalmente para os casos práticos que correspondem a simulação em solo e com o tubo PVC. Para o diagrama de radiação da diretividade, percebeu-se que a antena aperfeiçoada apresenta uma penetração maior no lóbulo frontal, com a desvantagem de um

lóbulo traseiro também mais elevado.

### Agradecimentos

Deixa-se os agradecimentos para a Universidade Federal de Itajubá.

### Referências

- [1] OLIVEIRA, G. et al. Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento. *Trata Brasil, Go associados*, 2018.
- [2] ISLAM, M. R. et al. A review on current technologies and future direction of water leakage detection in water distribution network. *IEEE Access*, IEEE, v. 10, p. 107177–107201, 2022.
- [3] JOL, H. M. *Ground penetrating radar theory and applications*. [S.l.]: elsevier, 2008.
- [4] LYMPEROPOULOS, D. et al. Detection of water leaks in supply pipes by using microwave ground penetrating and thermography techniques. In: *3rd international conference on non-destructive testing of the Hellenic Society for NDT*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, p. 330.
- [5] BALANIS, C. A. *Antenna theory: analysis and design*. [S.l.]: John wiley & sons, 2016.
- [6] BIMPAS, M.; UZUNOGLU, N. Development of a broadband e-shaped ground penetrating microstrip radiator combining microstrip resonators and a slotted ground plane. *Microwave and Optical Technology Letters*, Wiley Online Library, v. 44, n. 2, p. 172–176, 2005.
- [7] GARG, R.; BAHL, I. J. *Microstrip lines and slotlines*. [S.l.]: Artech house, 2024.
- [8] BIMPAS, M.; AMDITIS, A.; UZUNOGLU, N. Detection of water leaks in supply pipes using continuous wave sensor operating at 2.45 ghz. *Journal of Applied Geophysics*, Elsevier, v. 70, n. 3, p. 226–236, 2010.