

# Controle de temperatura utilizando um sensor a partir de antenas e radiofrequência

Palavras-Chave: Temperatura, antenas, radiofrequência.

**Autores:**

**Vitor Nunes (orientando), Faculdade de Tecnologia (FT), UNICAMP**

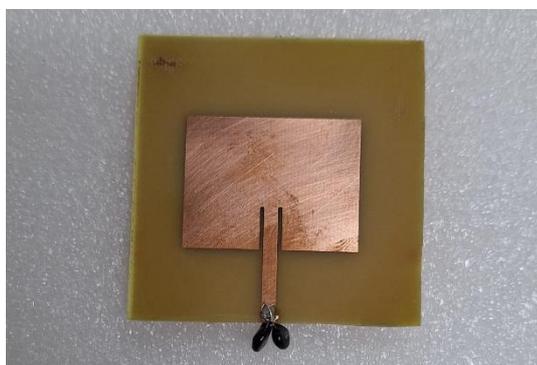
**Prof. Dr. Leonardo Lorenzo Bravo Roger (orientador), Faculdade de Tecnologia (FT), UNICAMP**

**Rodrigo Luiz Ximenes (coorientador), Faculdade de Tecnologia (FT), UNICAMP**

## INTRODUÇÃO

As antenas impressas possuem diversas aplicações em sistemas de identificação por radiofrequência e também no desenvolvimento de sensores. O objetivo desta pesquisa foi construir um sensor de temperatura utilizando antenas do tipo *patch* retangular e a teoria de sensores de radiofrequência para medir temperatura de locais de difícil acesso, onde os medidores mais comumente utilizados não podem operar. A figura 1 apresenta a “antena sensora”.

Figura 1 – “Antena sensora” utilizada na pesquisa.

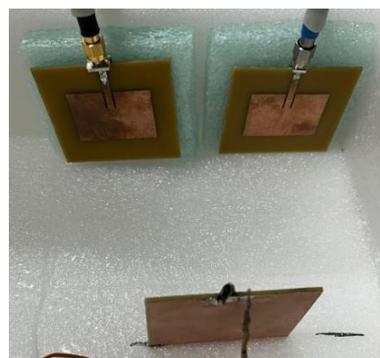


Fonte: Autor.

A antena que foi desenvolvida, cuja impedância de entrada é de 50 ohm, será utilizada em um sistema de sensoriamento,

concebido com a seguinte ideia: A antena será colocada em regime de recepção estando carregada com uma carga resistiva variável com temperatura. Essa antena chamaremos de “antena sensora”. A uma dada distância da mesma, utilizando uma antena transmissora acoplada a um gerador de RF será emitido um sinal e no mesmo ponto será utilizada uma antena receptora acoplada a um analisador de espectro para medir o nível de sinal refletido proveniente da “antena sensora”. A figura 2 mostra o experimento para medir a reflexão do nível de sinal [2]. Espera-se poder estimar a temperatura existente no ponto de onde está situada a “antena sensora”, a partir do nível de sinal recebida da mesma.

Figura 2 – Experimento em teste no Laboratório de radiofrequência.



Fonte: Autor.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira parte, o estudo teórico e projeto no software HFSS (seção A) e em seguida, a construção de um protótipo a ser usada como “antena sensora” que foi projetada (seção B), e por fim, o experimento do controle de temperatura realizado (seção C).

## MATERIAIS UTILIZADOS

- Licença do software HFSS para projetar as antenas;
- Gerador de sinais de Radiofrequência modelo: Agilent N5182A MXG Vector Signal Generator, para gerar os sinais da antena;
- Analisador vetorial de redes (VNA) modelo: MS4644B Vector Network Analyzer;
- Analisador de espectro modelo: KEYSIGHT EXA Signal Analyzer;
- Placa de FR-4;
- Ácido percloro, para corroer o cobre indesejado no design da antena;
- Termistor (Resistência variável com a temperatura de 50 ohms;

### A. Etapa teórica – Projeto realizado via Software

O projeto da antena foi realizado no software HFSS a partir de especificações calculadas inicialmente. O modelo de antena escolhido para a realização desta pesquisa foi uma Antena *patch*, de acordo com o modelo apresentado na figura 3. Assim, foi possível encontrar uma base teórica para auxiliar nos cálculos iniciais em [1]. Dessa forma, foram estabelecidos os parâmetros iniciais, que estão

indicados na tabela 1 e calculados os valores de  $W$  (*Width*) e  $L$  (*Length*) da antena patch [1].

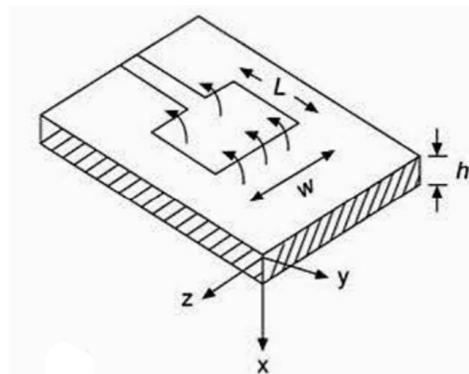
Tabela 1 – Parâmetros pré-estabelecidos.

Frequência de operação ( $f_R$ )	2,4 GHz
Permissividade relativa do substrato utilizado FR-4 ( $\epsilon_R$ )	4,4
Velocidade de propagação de ondas no espaço livre (C)	$3 \cdot 10^8$ m/s

Fonte: Autor.

Com os parâmetros estabelecidos na tabela 1, foi possível através das equações dos valores de  $W$  e  $L$  que podem ser encontradas em [1], [3].

Figura 3 - Modelo base de uma antena patch.



Fonte: Teoria e técnicas de antenas: princípios e prática” / Vincent F. Fusco [1].

Os valores de  $W$  e  $L$  que foram calculados estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de  $W$  e  $L$  determinados.

$W$ ( <i>Width</i> )	38mm
$L$ ( <i>Length</i> )	29,4mm

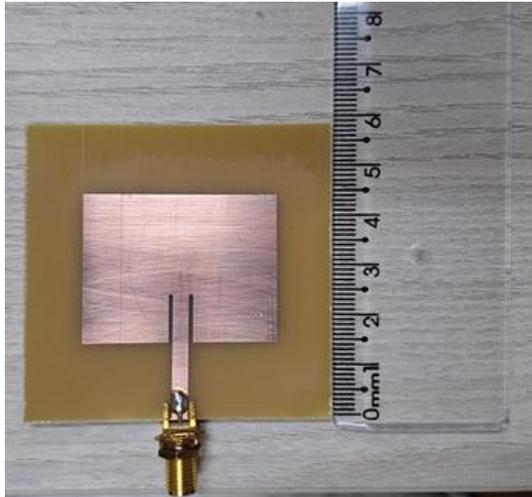
Fonte: Autor.

### B. Projeção e construção da antena

Nesta segunda etapa, com a Antena *patch* projetada no HFSS, foi exportado o

formato da antena, com as dimensões já conhecidas para o software Auto Cad, onde extraímos o formato da antena *patch* para fabricar um prototipo da antena, como mostrado na figura 4.

Figura 4 – Antena construída.



Fonte: Autor.

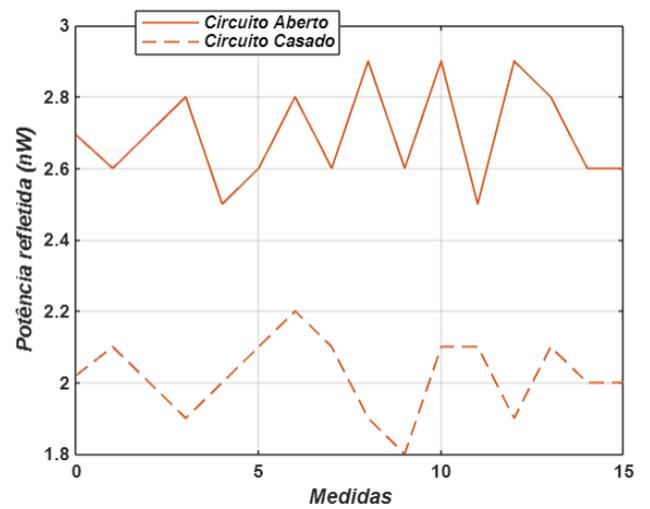
Com a antena em mãos, ela foi testada em um Analisador vetorial de redes (VNA), modelo: MS4644B Vector Network Analyzer, e constatamos que a frequência de operação da Antena é de 2,4GHz.

### C. Experimento com o sensor de temperatura

Nesta terceira etapa, as antenas já estavam com os parâmetros de frequência, largura de banda e perda de retorno desejados (tabela 3). Dessa forma, foi montado um sistema com o gerador de sinal (2,4GHz transmitindo uma potência de - 10 dBm), e o analisador de espectro para avaliar o descasamento de impedância do termistor e avaliar o retorno do sinal para o analisador de espectro. Inicialmente, foram realizados dois testes, o primeiro com a

antena sensora casada (aproximadamente 51,5  $\Omega$ ) e uma segunda avaliação para a antena sem o termistor (circuito aberto). Foram realizadas 15 medidas para cada situação para avaliar a amplitude que o analisador de espectro recebia. O gráfico da figura 5 apresenta os resultados de ambas as situações.

Figura 5 – Gráfico da amplitude de potência para ambas as situações.



Fonte: Software MatLab.

Com essas medidas realizadas, foi realizados os teste aplicando uma variação de temperatura na região que a antena sensora estava. Com isso, foi possível avaliar o descasamento de impedância e a variação da potência que refletiu para a antena receptora Rx [4,5].

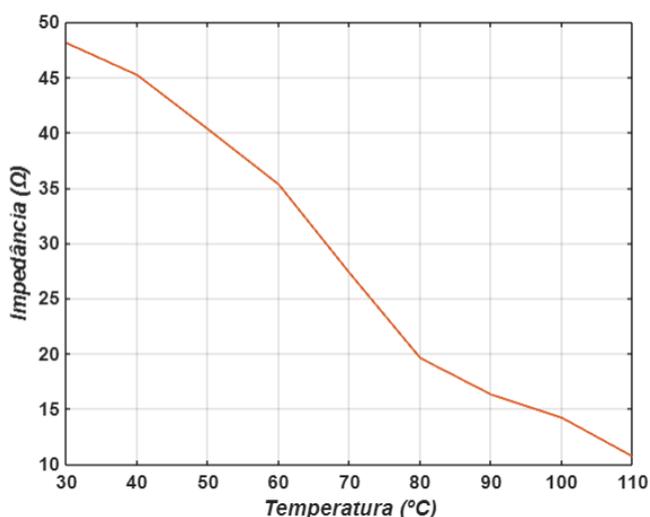
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir desta diferença, que foi apresentada entre as curvas na figura 5, foi possível concluir que a reflexão da antena sensora se comportava de duas diferentes maneiras. Em um momento com o termistor para

a temperatura ambiente adotada (30°C) e outra sem o termistor para a mesma temperatura.

Com base nesses resultados, o desafio foi começar a variar a temperatura do ambiente em que a antena sensora estava localizada, com o intuito de verificar uma modificação no valor de impedância do termistor, e por consequência, alterar o valor da potência refletida no analisador de espectro. As figuras 6 e 7 apresentam os resultados de impedância e potência refletida, respectivamente, para uma variação de temperatura de 30 °C para 110 °C.

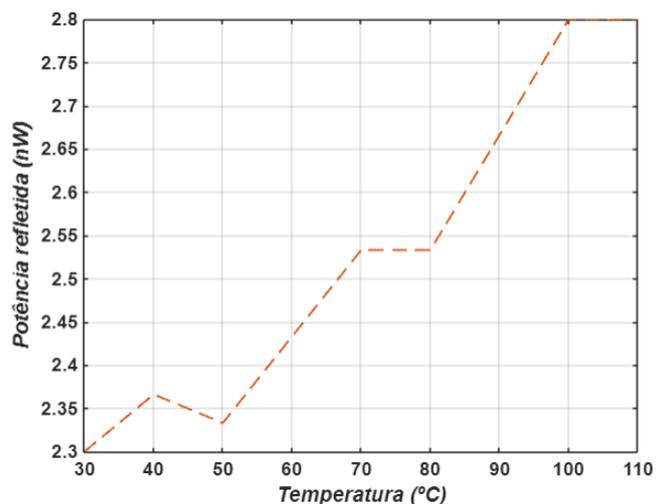
Figura 6 – Gráfico da Impedância X Temperatura.



Fonte: Software MatLab.

Ambos os gráficos são proporcionais. É possível notar que a medida que a impedância vai diminuindo, vai acontecendo o descasamento, ou seja, a carga começa a consumir menos energia. A partir do menor consumo de energia que ocorre no termistor, o nível de sinal refletido começa a sofrer uma variação.

Figura 7 – Gráfico da Potência de refletida X Temperatura.



Fonte: Software MatLab.

Ao analisar os dados obtidos, foi possível notar que a variação de potência foi muito baixa. Isso ocorreu devido ao fato do descasamento de impedância ser um evento muito sutil de realizar a medição comparado aos efeitos externos que a antena sofre durante o experimento. Contudo, é possível avaliar pelos resultados que a mudança da impedância no termistor provoca uma variação no nível de sinal refletido. O controle de temperatura é realizado caso a temperatura do ambiente seja alterada.

## CONCLUSÕES

Durante a primeira etapa da pesquisa, foi possível projetar, simular e avaliar todo o comportamento eletromagnético da antena no software HFSS, analisar o comportamento da frequência de operação para os parâmetros estabelecidos, efeitos de campo, radiação e ganho. Esses primeiros resultados apontaram um comportamento eficiente segundo as referências. A partir deste momento, para a parte prática, foi construído um protótipo da antena,

medindo-se a perda de retorno em um analisador vetorial de redes (VNA). A comparação dos resultados simulados e medidos mostram uma adequada correspondência (tabela 3) [6].

Tabela 3 – Comparativo dos resultados da antena no software x prática.

	Simulada	Medida
Frequência de ressonância	2,39 GHz	2,448 GHz
Largura de banda	64 MHz	82 MHz
Perda de retorno	- 23,79 dBm	- 27,88 dBm

Fonte: Autor.

Com os resultados obtidos, foi possível observar que a impedância do termistor varia a medida em que a temperatura do ambiente, na qual o termistor está situado, varia também. O conceito que está sendo apresentado neste trabalho, que é possível monitorar a temperatura de um determinado local se você conhecer a variação da amplitude do sinal de potência que chega na antena receptora.

Para trabalhos futuros, seria interessante realizar as medidas em uma câmara anecoica, para testar a reflexão livre dos efeitos externos que podem afetar as antenas.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Fusco, Vincent F. "Teoria e técnicas de antenas: princípios e prática" / Vincent F. Fusco; tradução José Lucimar do Nascimento. - Porto Alegre: Bookman, 2006.

[2] W. C. P. dos Anjos and C. G. do Rego, "Characterization UWB of wire antennas in the space-time domain," 2011 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), Natal, Brazil, 2011, pp. 420-425, doi: 10.1109/IMOC.2011.6169420.

[3] L. Morbidel, L. A. B. Rossini, F. Fiorini and P. A. C. Caso, "Diseño y medición de una antena espiral logarítmico para aplicaciones de UWB," 2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Buenos Aires, Argentina, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ARGENCON.2016.7585252.

[4] S. Preradovic, I. Balbin, N. C. Karmakar, and G. F. Swiegers, "Multiresonator-based chipless RFID system for low-cost item tracking," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 57, no. 5, pp. 1411–1419, 2009.

[5] S. Pranonsatit e P. Narkcharoen, "Multirresonadores RFID sem chip fabricados pela técnica Fill Until Full (FuF)", 2012 IEEE International Conference on RFID- Projeto de pesquisa: Antena planar UWB para banda S 14 Technologies and Applications (RFID-TA) , Nice, France, 2012, pp. 389-392 , doi: 10.1109/RFIDTA.2012.6404552.

[6] MA Shukoor, SS Mukeshbhai e S. Dey, "12-Bit Multiresonator Based Chipless RFID System for Low-Cost Item Tracking," 2021 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA) , Delhi, Índia, 2021, pp. 136-138, doi: 10.1109/RFID-TA53372.2021.9617361.