

# Desenvolvimento De Método Para Determinar Nível De Umidade Presente Nas Folhas De Juá Utilizando Antena De Microfita

Maria Eduarda dos Santos Freitas  
Centro de Ciências Exatas e  
Naturais - CCEN  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido (UFERSA)  
Mossoró/ RN, Brasil  
maria.freitas01450@alunos.ufersa.  
edu.br

Sebastião Ferreira Baracho Neto  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido  
Mossoró/RN, Brasil  
sebastiao.neto.36291@alunos.ufersa.  
edu.br

Idalmir De Souza Queiroz Júnior  
Departamento De Engenharia E  
Tecnologia  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido  
Mossoró/RN, Brasil  
idalmir@ufersa.edu.br

Leonardo Oliveira de Sousa  
Centro de Ciências Exatas e  
Naturais - CCEN  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido (UFERSA)  
Mossoró/ RN, Brasil  
leonardo.sousa14353@alunos.ufersa.  
edu.br

Emerson Nunes dos Santos  
Centro de Ciências Exatas e  
Naturais - CCEN  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido (UFERSA)  
Mossoró/ RN, Brasil  
emerson.nunes.ds@gmail.com

**Abstract** — Precision agriculture is an agricultural management model that aims to offer the necessary resources for each part of the agricultural area. It studies the conditions of the land and culture, incorporating technology techniques into the production system. Radiofrequency response can help determine the moisture level in leaves and can be applied to determine and evaluate the level of plant ripeness. The objective of this study is to analyze and understand how the humidity present in the leaves causing the frequency shift in the antenna.

**Keywords**— *Moisture content, antenna, plant, frequency offset*

**Resumo** - A agricultura de precisão é um modelo de gerenciamento agrícola que tem a finalidade de oferecer os recursos necessários para cada parte da área agrícola. São estudadas as condições do terreno e da cultura, incorporando técnicas de tecnologia no sistema de produção. A resposta em radiofrequência pode ajudar a determinar o nível de umidade em folhas, podendo ser aplicadas para determinar e avaliar o nível de amadurecimento da planta. O objetivo deste estudo é analisar e compreender como a umidade presente nas folhas causa um deslocamento de frequência na antena.

**Palavra chaves:** *Teor de umidade, antena, planta, deslocamento de frequência*

## I. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) propôs 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), para tornar o mundo livre de pobreza, fome e doenças. O objetivo 12 exige um comportamento responsável e sustentável para o consumo e produção de alimentos. Sendo necessário um

aumento na produção de alimentos, entretanto o aumento de campos para o plantio não é uma decisão sustentável. Uma forma de mitigar danos é a otimização da produção por unidade de terra.[1]

Para atingir um nível de produtividade desejado, necessita-se determinar alguns parâmetros para a colheita, como as condições do campo e o tempo da safra. É nisso que se baseia a agricultura de precisão. De acordo com [2], ela consiste em implantar sistemas de telecomunicações e sensores distribuídos, para adquirir os dados das condições de terra, temperatura, nível de colheitas no local, além de determinar em tempo real as condições mais adequadas (como irrigação, preparo do solo e colheita) para cada área específica, de forma a aumentar a produtividade, enquanto reduz desperdício e custos de produção [2].

A antena de microfita, aplicada como um sensor, é uma forma de identificar alguns parâmetros como o nível de umidade nas plantas. Esse trabalho foi proposto, utilizando uma antena de microfita e sobre ela eram colocadas algumas amostras de folha com uma variação do nível de umidade, e analisando seu comportamento no deslocamento de frequência conforme a folha fosse secando.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Planta de Juá

O Juá é uma planta da família das Rhamnaceae, também conhecida como joá, joazeiro, juazeiro, entre outros nomes. É uma árvore alta, que possui alturas variando entre 5 a 15 metros, além disso, é característico dessa árvore a presença de espinhos. Suas folhas são coriáceas (semelhante ao couro e quebradiças), lustrosas, elípticas, flores pequenas, axilares, em caches, amarelo-esverdeadas, em formato de estrela. Possui um fruto globoso, com cerca de 3cm, amarelo, comestível com pedúnculo orlado, que se assemelha com uma pitomba, porém menor. Durante as épocas de seca, a planta se

conserva verde e cresce lentamente e vive por mais de 100 anos. Sendo uma planta nativa de regiões do Brasil, o juazeiro é muito pouco conhecido e estudado no exterior [3].

### B. Antena de Microfita

As antenas planares, conhecidas popularmente como antenas de microfita, são dispositivos de comunicação sem fio utilizados em diversos sistemas, como base de celulares, radares, entre outros. A parte superior é conhecida como *patch*, é a parte responsável pela transmissão e recepção das ondas eletromagnéticas. Seu *design* é baseado em uma geometria que atenda aos requisitos de frequência e diretividade da antena. A parte inferior é conhecida como plano de terra, ela é encarregada pela blindagem de radiação de lóbulo secundário da antena. A que separa o *patch* e o plano de terra é conhecida como substrato, o qual utiliza um material dielétrico que influencia diretamente nas características da antena, como a impedância, a frequência de operação, eficiência, além de definir a espessura da antena. A fig. 1 descreve a estrutura de uma antena de microfita.

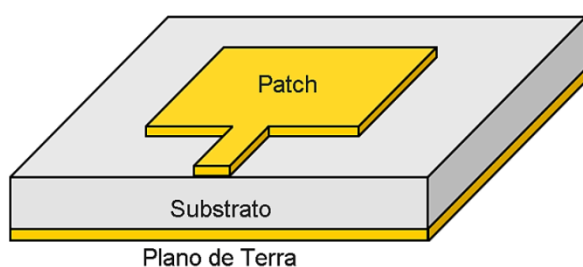


Fig. 1: Configuração de uma antena de microfita. Fonte: [4]

### C. Métodos Para Determinar a Água Presente nas Folhas

Uma forma de determinar a água presente nas folhas é por meio do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), uma medida do grau de hidratação de uma planta, sendo assim fornece um índice relativo do estresse hídrico que a planta está submetida [4]. Um equipamento utilizado para determinar esse índice é o psicrômetro de termopar. Utilizando esse equipamento, o tecido vegetal é mantido em uma pequena câmara a uma temperatura constante e o grau de resfriamento do termopar é determinado à medida que a água evapora do ou é absorvida pelo tecido [5]. O termopar apresenta o potencial da relação termodinâmica da umidade relativa com o potencial matricial da água no tecido vegetal [4].

Os psicrômetros podem ser utilizados em métodos não destrutivos, em câmaras fechadas, ou em *in loco*, a depender do *design* do equipamento [6]. As técnicas destrutivas em laboratórios, produzem medições confiáveis de potencial hídrico, entretanto os métodos *in loco* necessitam de cuidado e experiência para a calibração para diminuir de erros de leitura.

Apesar desses sensores já serem utilizados, seu uso ainda é limitado em campo, outras alternativas já estudadas podem ser utilizadas com processos mais simples como por meio da radiofrequência

## III. METODOLOGIA

### A. Medições

Com o auxílio do *software ANSYS High Frequency Structure Simulator (HFSS)*, Release 2019.2, foi simulada uma antena de microfita na faixa de frequência de 3,56 GHz.

E com o auxílio de um *Vector Network Analyzer (VNA)* Rohde & Schwarz ZND, 100 kHz – 8,5 GHz e kit de medição de permissividade DAK-3.5 SPEAG (200 MHz – 20 GHz). Os parâmetros analisados foram a tangente de perdas ( $\tan \delta$ ) e permissividade real ( $\epsilon'$ ), pois ambos são parâmetros de entrada no HFSS para uma simulação mais precisa.

Para o dimensionamento do *patch* foram então aplicadas as fórmulas conhecidas na literatura para os patches, considerando a frequência de projeto que esperava-se atingir de 3,56 GHz. As equações (1) e (2) se referem ao método da linha de transmissão para o cálculo dos parâmetros da antena retangular.

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

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Onde  $W$  representa a largura do patch,  $L$  é o comprimento do patch,  $c$  é a velocidade da luz no espaço livre e  $f_r$  é a frequência de ressonância desejada, e  $\epsilon_r$  a permissividade relativa do substrato.

As dimensões geradas foram de  $W = 26,1$  mm e  $L = 19,4$  mm. Outra parte importante para a antena é a linha de microfita, responsável por conectar o patch a fonte de alimentação e pelo casamento de impedância da antena. A ferramenta *Optimetrics do software* foi usada para otimizar a linha de transmissão e obter as dimensões para um melhor casamento de impedância. Foram obtidos os valores do comprimento da linha de transmissão ( $L_m$ ) = 6,1 mm e a largura da linha ( $W_m$ ) = 1,2 mm. O material utilizado como substrato é o FR4 (Fibra de vidro), suas características dielétricas foram obtidas a partir da medição do VNA, e os parâmetros foram importados no HFSS. [7]

Foi feito uso de instrumentos como uma estufa, uma balança de precisão e um VNA. As folhas de juazeiro analisadas foram retiradas do bosque dos juazeiros, localizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró, lado Leste, Mossoró - RN. Para o teste foram colhidas três amostras, com três folhas cada, de diferentes árvores. Com o auxílio da balança, foi medido a massa inicial das folhas, em seguida é realizada uma média aritmética entre as massas das três folhas de cada amostra, esses dados são apresentados na tabela 1. Com a utilização do VNA, foi medido o coeficiente de reflexão (S11) da antena e como esse se comportava com a presença da folha em contato. Em seguida as folhas foram levadas para a estufa a 60 °C, onde são secadas por 5 min. Após esse tempo, é medido novamente a massa das folhas e atribuído uma média aritmética para cada amostra, após isso é medido o valor de S11, e as amostras voltavam para a estufa por mais 5 minutos. Assim as medições de massa e S11 foram realizadas para um período total que as folhas ficaram na estufa, 20 minutos. Na fig. 2, consegue ver as três folhas de cada amostra. Na fig. 3, é visto a medição da planta sobre a antena de microfita.



Fig. 2 - Foto das amostras.

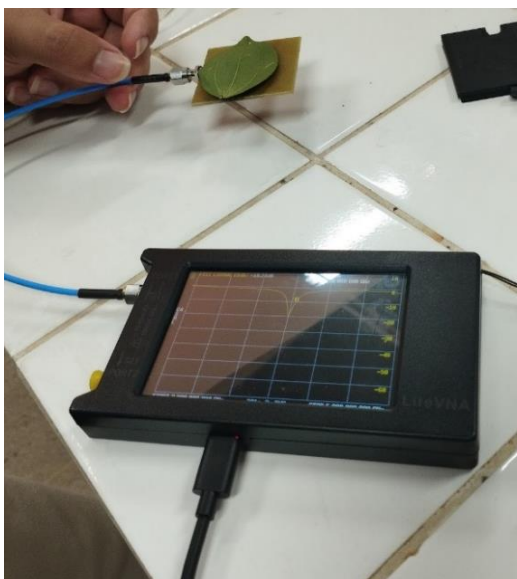


Fig. 3 - Medição das amostras em cima de uma antena planar

### B. Deslocamento de frequência

Dasdhani et al. (2015), utilizou em sua pesquisa um ressonador de micro-ondas que opera em duas faixas de frequência (2,4 GHz e 150 MHz). No seu trabalho ele relaciona o nível de umidade presente na folha com a taxa de variação de frequência (FRS), a Eq. 3 descreve essa taxa. [8]

$$FRS = \frac{f_{r.amostra} - f_{r.vazio}}{f_{r.amostra}} \quad (3)$$

Onde  $f_{r.vazio}$  é a frequência normal de operação do ressonador e  $f_{r.amostra}$  é a frequência resultante devido a presença da amostra. A composição de uma folha saudável é cerca de 90% de água. Segundo [9], uma das características da água é sua alta constante dielétrica. Sendo essa constante de 80 (em temperatura ambiente). Levando em consideração isso para cada vez que a folha perder a água em sua composição ela vai gerar um deslocamento de frequência de ressonância diferente. Sendo assim pode se relacionar a variação de frequência com o nível de umidade da folha.

## IV. RESULTADOS

Na Fig. 4 está representado o gráfico de coeficiente de reflexão ( $S_{11}$ ) para a amostra 01. A presença da folha causa um deslocamento na frequência de ressonância da antena, e

conforme a folha secava na estufa esse deslocamento atenuava se aproximando da frequência de ressonância original.

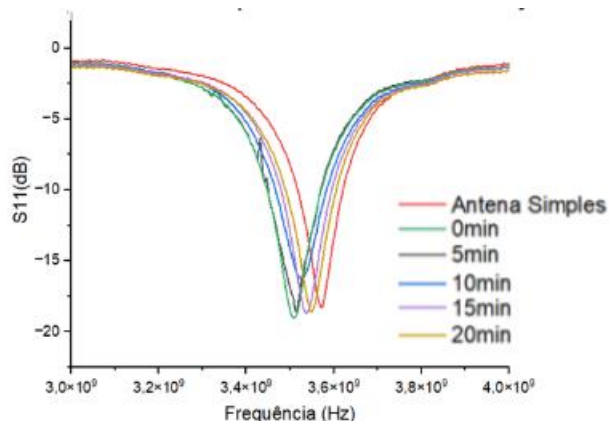


Fig. 4 – Deslocamento de frequência conforme a variação de água na folha.

Para cada folha foi calculado um deslocamento de frequência, conforme demonstra a equação (3). Após a obtenção desses valores foi calculado uma média entre os três deslocamentos causados pelas folhas de cada amostra. A Tabela 1 demonstra todos os valores calculados, as médias para os valores de FRS e a massa média de cada amostra. Esse valor médio de massa vai diminuindo conforme as folhas foram ficando na estufa, os valores de FRS também diminuem.

Tabela 1- Comparação média entre deslocamento e média de massa de cada amostra para os intervalos de tempo.

Tempo (min)	Amostra 01	
	FRS	Massa média (g)
0	0,018336	0,2314
5	0,015052	0,1980
10	0,016147	0,1782
15	0,010126	0,1599
20	0,006295	0,1418

(a)

Tempo (min)	Amostra 02	
	FRS	Massa média (g)
0	0,020799	0,2095
5	0,022441	0,1767
10	0,015873	0,1547
15	0,015599	0,1355
20	0,004379	0,1183

(b)

Tempo (min)	Amostra 03	
	FRS	Massa média (g)
0	0,021073	0,3001
5	0,018063	0,2352
10	0,011768	0,2012

15	0,013957	0,1746
20	0,003832	0,1562

(c)

No período que cada folha passou na estufa ela perdeu um percentual de água. Considerando que a folha com a massa inicial tem 100% de umidade, podemos criar uma relação de quanto foi perdido durante cada período na estufa. A Tabela 2 foi desenvolvida com os valores médios de FRS para cada intervalo de tempo e sua respectiva porcentagem de umidade em relação à massa inicial.

Tabela 2 - Valores de FRS em relação a massa média das três amostras no intervalo de tempo

Tempo (min)	FRS	%g em relação à massa inicial
0	0,020069	100,00
5	0,018519	85,60
10	0,014596	75,41
15	0,013228	66,38
20	0,004835	58,80

Alinhando esses dados em um gráfico de dispersão podemos notar um comportamento linear decrescente, conforme o valor da porcentagem de umidade presente na folha diminui, o deslocamento de frequência também, conforme apresentado na Fig. 5.

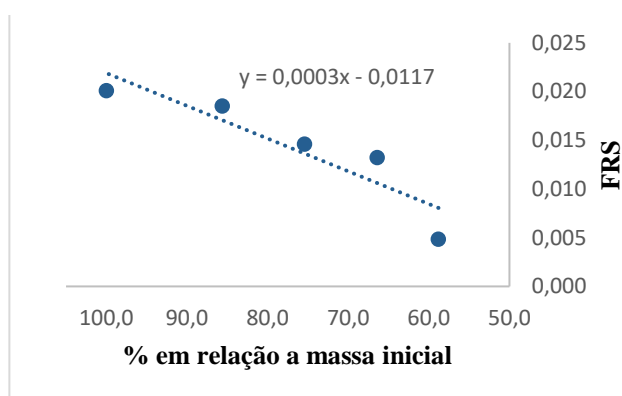


Fig. 5 - Gráfico de dispersão FRS x porcentagem de massa.

## V. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a variação no deslocamento de frequência gerada pela diminuição da presença de água na folha pode ser utilizada para gerar dados a respeito do nível de umidade em uma planta. Então, previamente a antena de microfita pode ser utilizada como sensor para determinar o nível de umidade e futuramente, para a análise de amadurecimento dos frutos de algumas culturas de plantas.

Para trabalhos futuros, podem ser estudadas outras respostas na antena devido a presença da umidade, como o coeficiente de reflexão S11 e o coeficiente de transmissão S21, para poder realizar a caracterização da permissividade dielétrica da folha. Com os dados da permissividade relacionado com a variação da umidade, seria possível catalogar o período de amadurecimento da planta e ver como a água presente nas folhas podem influenciar nisso. Sendo

possível futuramente criar uma base de dados suficiente para melhorar a produção de algumas culturas.

## AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Os autores agradecem também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), à equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas (LabMicro) da UFRSA, ao Ramo Estudantil IEEE UFRSA - Mossoró e ao Capítulo Estudantil MTT-S.

## REFERÊNCIAS

- [1] United Nations Development Programme. **Sustainable Development Goals**. Disponível em: <<https://www.undp.org/sustainable-development-goals/responsible-consumption-and-production>>. Acesso em: 21 out. 2023.
- [2] PALAZZI, V. et al. **Feeding the world with microwaves**. IEEE Microwave Magazine, v. 20, n. 12, p. 72–86, 2019a. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8894635>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.
- [3] Vasconcelos, Luiz Fernando Santos de. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do juazeiro (ziziphus joazeiro)**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/ PB, 2017.
- [4] BOTEGA, J. V. L. **Viabilidade de Métodos Óticos Para Identificação de Conteúdo de Água de Folha de Cafeeiros**. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.
- [5] CARVALHO, J.; UESC, M. **Padronização de método psicrométrico para monitoramento contínuo de potencial hídrico em plantas jovens de Pinhão-mansô**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/210834/1/B-LAVIOLA-SEG-Padronizacao-de-metodo-psicrometrico-para-monitoramento.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2023.
- [6] MARTINEZ, E. M. et al. Review. **Use of psychrometers in field measurements of plant material: accuracy and handling difficulties**. Spanish Journal of Agricultural Research, v. 9, n. 1, p. 313, 1 mar. 2011.
- [7] HOLANDA, Samanta. **Estudo E Desenvolvimento De Antenas De Microfita Utilizando Tecido De Malha A Base De Fibras Têxteis Compostas**. 2016. Tese (Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2016.
- [8] DADSHANI, S. et al. **Non-invasive assessment of leaf water status using a dual-mode microwave resonator**. Plant Methods, v. 11, n. 1, 22 fev. 2015.
- [9] AFZAL, A.; SEYYED MOHAMMAD MOUSAVI; KHADEM, M. **Estimation of Leaf Moisture Content by Measuring the Capacitance**. v. 12, n. 3, p. 339–346, 7 mar. 2010.

[10] Gyarmati, G., & Mizik, T. (2020). **O presente e o futuro da agricultura de precisão**. 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE). Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9130481>. Acesso em: 22 de setembro de 2023.