

## **Análise da Taxa de Absorção Específica Emitida por uma Antena na Frequência de WLAN em um Usuário de Notebook**

**Danilo da Silva Moura<sup>1</sup>, Humberto Dionísio de Andrade<sup>1</sup>, Thomas Tadeu de Oliveira Pereira<sup>1</sup>, José Lucas da Silva Paiva<sup>1</sup>, Idalmir de Souza Queiroz Júnior<sup>1</sup>, Adna Queiroz Sales<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Engenharias – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)  
Caixa Postal 137 – 59625-900 – Mossoró – RN – Brasil

danilo100\_sm@hotmail.com, humberdodionisio@ufersa.edu.br,  
thomas\_tadeu@hotmail.com, jose.paiva@ufersa.edu.br,  
idalmir@ufersa.edu.br, queirozadna@gmail.com

**Resumo.** *Este trabalho apresenta a modelagem e simulação de uma antena dipolo impresso na forma planar com as suas linhas dobradas. Essa antena atua na faixa de frequência do WLAN, mais especificamente com 2,45 GHz. Também será mostrado a Taxa de Absorção Específica (SAR) emitida por essa antena sobre um molde 3D ao qual representa um usuário. A antena será posta em relação ao corpo seguindo as regras de ergonomia para o trabalho em computadores.*

**Abstract.** *This work presents the modeling and simulation of a printed dipole antenna in planar form with his lines bended. This antenna operates within the frequency range of the WLAN, more specifically with 2.45 GHz. It will also be shown the Specific Absorption Rate (SAR) emitted by this antenna on a 3D mold to which it represents a user. The antenna will be placed in relation to the body following the rules of ergonomics for working in computers.*

### **1. Introdução**

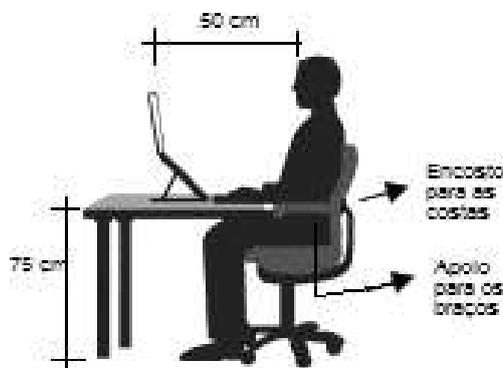
Devido ao advento da informática os processos industriais se tornaram automatizados, dessa forma o acompanhamento da produção é feito através de *softwares* especializados, o que minimiza a presença do trabalhador junto a máquina e aumenta a quantidade de horas em frente a um computador (Silveira 2019).

A utilização da internet sem fio (Wi-Fi) aliado com os conceitos da Internet das Coisas acelerou esse processo de automatização. Outra ferramenta que auxilia as indústrias é a utilização de notebook ao invés de computadores de mesa devido a sua praticidade e possibilidade de locomoção sem a necessidade de uma alimentação constante.

O fato de os colaboradores permanecerem mais tempo manuseando os computadores não os eximem de adquirirem doenças decorrentes do trabalho, afinal a postura incorreta diante do computador, além da exposição diária a campos eletromagnéticos estão associados com a possibilidade de adquirir doenças (Télez Garzón 2013; Ferreira et al, 2001).

Devido a ocorrência de doenças causadas por esforços repetitivos foi criado a Norma Regulamentadora 17 (NR 17), ao qual trata de Ergonomia nos mais diferentes ambientes e situações de trabalho. De acordo com Ferreira et al (2001) recomenda que o ambiente de trabalho forneça ao colaborador uma mesa com no máximo 75 centímetros

(cm) de altura, cadeira com encosto ajustável, apoio para os braços, uma distância de 50 cm entre o usuário e o monitor. A Figura 1 mostra as recomendações feitas por Ferreira et al. (2001).



**Figura 1. Posição antropométrica correta.**

**Fonte: Adaptado de BringIT (2013)**

Além disso, a exposição à radiação eletromagnética emitida pelas antenas de Wi-Fi presentes nos notebooks pode causar aquecimento dos tecidos humanos devido a absorção de radiação, além de insônia, distúrbios na aprendizagem, no tempo de reação e atenção e concentração (Télliez Garzón 2013). Contudo, os estudos realizados até o momento não afirmam a existência de uma relação entre as doenças causadas com a exposição a campos eletromagnéticos (Cruz 2005).

Esse artigo tem como proposta modelar uma antena dipolo planar impressa ao qual funcione dentro da faixa de frequência do WLAN e efetuar a análise a Taxa de Absorção Específica (*Specific Absorption Rate* – SAR) sobre um usuário que trabalha diretamente com um notebook.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1 Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são responsáveis por permitirem a realização da comunicação sem fio (ANATEL, 2015). O espectro das ondas que fazem a transmissão de sinais é considerada não ionizantes pois a quantidade de energia transportada não afeta as ligações químicas das moléculas, mas a exposição em excesso pode causar aquecimento aos tecidos orgânicos devido a absorção dessa energia (Bulla 2006).

### 2.2 Taxa de Absorção Específica

O corpo humano apresenta um limite de exposição a Campos Eletromagnéticos de Rádio Frequência (CEMRF). Essa absorção é medida através da Taxa de Absorção Específica. Segundo a ANATEL (2002), o SAR é a quantidade de energia absorvida por unidade de massa de tecido biológico em Joule por quilograma (W/kg).

A Equação 1 mostra como o SAR se comporta matematicamente. Essa equação é baseada de acordo com o teorema do vetor de Poynting para campos eletromagnéticos (Bulla 2006).

$$SAR = \frac{\sigma|E|^2}{2\rho} \quad (1)$$

Onde  $\sigma$  é a condutividade do material  $\rho$  é a massa específica e  $E$  é o campo elétrico que incide sobre o tecido.

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia presente nesse artigo trata-se da modelagem e simulação da antena proposta ao qual tem como intuito trabalhar dentro da faixa de frequência do WLAN. Em seguida foi utilizado de um molde 3D para representar um usuário trabalhando em um notebook e recebendo a radiação eletromagnética emitida pela antena. A Figura 2 apresenta o desenvolvimento do trabalho.

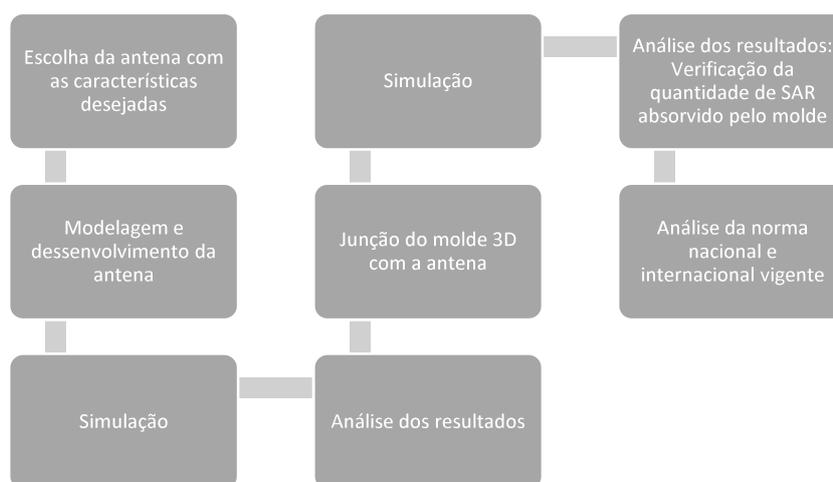


Figura 2. Fluxograma das etapas executadas

#### 3.1 Antena Modelada

Para aplicações em WLAN é necessário que a antena receba o sinal independentemente de onde ele está sendo emitido, isto é, a antena tem que apresentar um diagrama de radiação com características omnidirecionais, sendo assim uma antena que satisfaz essa condição é a do tipo dipolo (Martins, 2019). Contudo, devido ao tamanho das linhas a sua aplicação em equipamentos ao qual exigem portabilidade, a sua utilização é inadequada.

A Antena de Linha Dobrada (*Meander Line Antenna – MLA*) tem esse nome devido a curva que é feita em sua linha, além disso para resolver o problema de propagação o comprimento físico e elétrico da antena deve estar casado, dessa forma foi feito a redução do comprimento físico através das curvas e assim foi aumentado o comprimento elétrico (Deng e Ma 2010). Essa modificação pode ser feita em antenas do dipolo sem que as suas características de radiação sejam distorcidas (Nakano 1984). A Figura 3 mostra uma antena MLA com seus parâmetros.

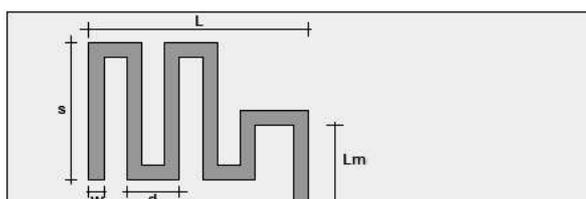


Figura 3. MLA antena e seus parâmetros.

Para a modelagem da antena foi definido três parâmetros iniciais: altura do substrato ( $h = 1,55mm$ ), frequência de operação ( $f = 2,45 GHz$ ) e constante dielétrica do substrato ( $\epsilon_r = 4,4$ ).

Para alimentar a antena foi utilizado o método da Linha de Transmissão, onde Visser (2012) apresenta as equações que relacionam a impedância de entrada, a altura do substrato e a constante dielétrica do material. A impedância de entrada ( $Z_o$ ) é definida em  $50\Omega$  para que haja o casamento de impedância entre a linha (Balanis, 2009). O cálculo da largura é feito de acordo com a Equação 2 e 3.

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

$$w = \frac{2h}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(b - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}) \right]. \quad (3)$$

Já o comprimento da linha é dado pela Equação 4.

$$Lm = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{refe}}} \quad (4)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $\epsilon_{refe}$ , que é a constante dielétrica efetiva dentro do substrato, é dada pela Equação 5.

$$\epsilon_{refe} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2}. \quad (5)$$

Para o cálculo dos demais parâmetros da antena Calla et al. (2008) define as Equações 6, 7 e 8, para uma antena MLA padrão com três voltas.

$$L = 0,7\lambda_g. \quad (6)$$

$$s = 0,42\lambda_g. \quad (7)$$

$$d = 0,16\lambda_g. \quad (8)$$

Onde  $\lambda_g$  é o comprimento da onda eletromagnética dentro do substrato e que é calculado por meio da Equação 9.

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{efe}}} \quad (9)$$

As antenas do tipo dipolo planar têm como característica a presença de um *patch* em ambas as faces do substrato com uma geometria de dipolo dobrado, contudo, apenas o patch da face superior recebe alimentação, enquanto o outro serve como plano de terra. A Figura 4 mostra a antena modelada.

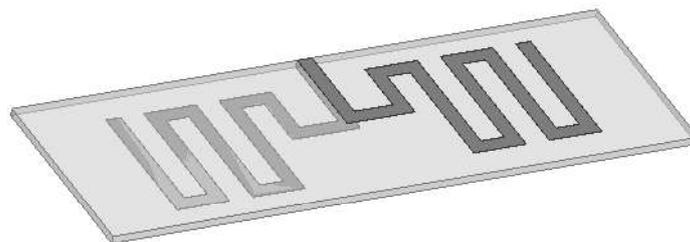
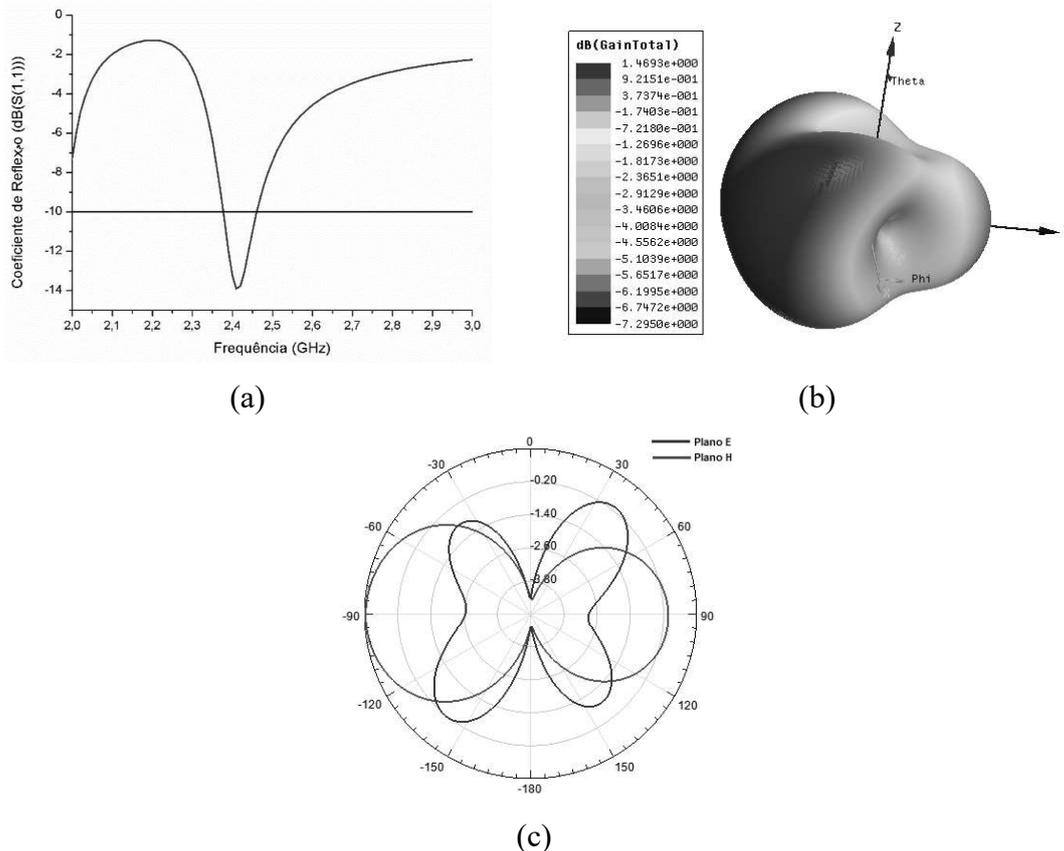


Figura 4. Antena MLA dipolo.

A modelagem e a análise da antena foram feitas no *software* da ANSYS HFSS<sup>®</sup>. Essa ferramenta computacional fornece como resultado para o usuário, informações como coeficiente de reflexão, diagramas de radiação 2D e 3D aos quais são necessários para validar a eficácia do dispositivo. Esses parâmetros mostram, respectivamente, a relação logarítmica entre o sinal de entrada e o de saída, e a diretividade dessa antena (Balanis 2009). A Figura 5a, 5b, e 5c mostram os parâmetros comentados respectivamente.



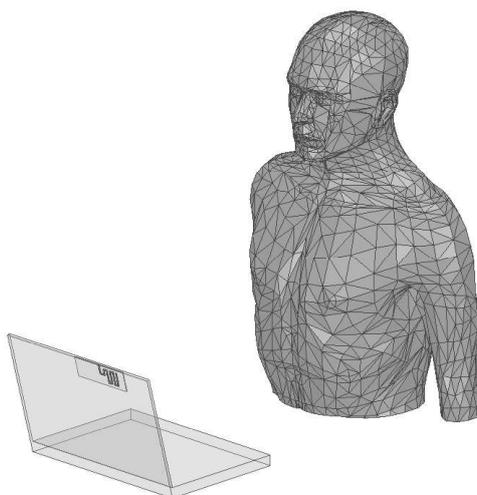
**Figura 5. Parâmetros obtidos no HFSS. (a) Coeficiente de Reflexão, (b) Diagrama de Radiação 3D, e (c) Diagrama de Radiação 2D.**

De acordo com a Figura 5a a antena apresenta coeficiente de reflexão abaixo de -10dB na frequência de 2,45 GHz, portanto a estrutura é caracterizada como uma antena. Já as Figuras 5b e 5c apresentam um diagrama de radiação omnidirecional.

### 3.2 Molde do corpo e Simulação do SAR

A simulação computacional do SAR foi feita no HFSS<sup>®</sup>, onde o molde 3D de um corpo humano contém as seguintes partes: tronco, cabeça, e a parte superior dos braços. A permissividade relativa ( $\epsilon_r$ ) escolhida foi de 39,2 e uma condutividade ( $\sigma$ ) de 1,8 S/m (Derat 2014).

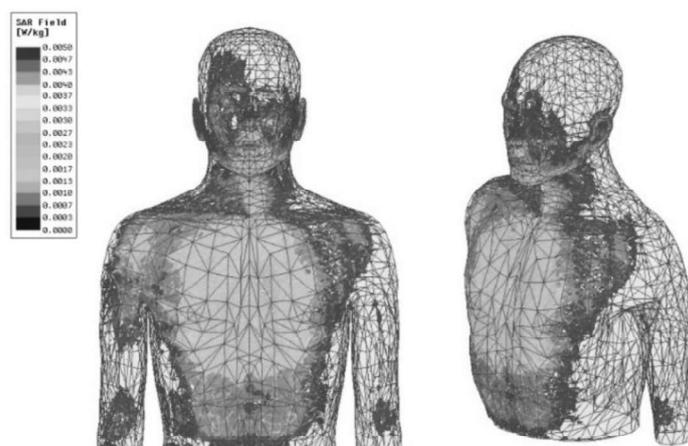
Uma antena de Wi-Fi escolhida para simulação é alimentada inicialmente com uma potência de 100 mW (Araújo, 2019). Sua localização dentro de um notebook é na parte traseira do monitor. A partir disso foi posicionada a antena juntamente com o molde de acordo com as recomendações de ergonomia feitas por Ferreira et al. (2001). A Figura 6 mostra uma visão isométrica da antena com o Molde.



**Figura 6. Molde 3D humano e a Antena Dipolo.**

#### 4. Resultados e Discussões

Os notebooks possuem antenas que emitem radiação eletromagnética, entretanto apenas os campos elétricos que compõem essa radiação é que transmitem e recebem dados, além disso eles também são os responsáveis pela geração de SAR. A Figura 7 mostra a absorção de campo elétrico realizada pelo molde, ou seja, o SAR gerado.



**Figura 7. SAR gerado pela antena em relação ao molde.**

É visto na Figura 7 que há uma absorção em quase toda a área frontal do molde, sendo o tronco o mais atingido pelos campos eletromagnéticos. A quantidade de SAR máxima que uma pessoa pode absorver é regulamentada pela ANATEL através da resolução de nº 700, de 28 de setembro de 2018 e suas alterações ao qual fazem uso das tabelas propostas pela Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP).

É dito pela ICNIRP (1998) que o máximo de SAR que um trabalhador pode ser exposto é de 0,4 W/kg. Na Figura 7 é visto que o máximo absorvido por esse molde é de 0,005 W/kg, ao qual está abaixo do máximo permitido pela norma, e que na maior parte da área absorção é mínima, isto é, os valores absorvidos não chegam a 0,003 W/kg.

## 5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que o SAR emitido pela antena modelada está de acordo com os padrões internacionais estabelecidos pela ICNIRP. Vale salientar que a radiação emitida não causará aquecimento aos tecidos do usuário, já que a norma trata disso, contudo os outros efeitos como falta de concentração e perda de sono não estão sendo avaliados, isto é, essa norma trata apenas do aquecimento dos tecidos.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, CNPq, UFERSA, GEPEAT e à equipe do Laboratório de Micro-ondas da UFERSA. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências

- Anatel. Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002. 2002. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em 10 de abril de 2019.
- Anatel. Ondas eletromagnéticas e as pessoas. 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/setorregulado/exposicao-a-campos-eletromagneticos?id=229>>. Acesso em: 30 de jul. 2018.
- Araújo, N C T. Análise e aplicabilidade de um Jammer 2,4GHz. Disponível em: <<ftp://ftp.registro.br/pub/gts/gts24/07-Analises-Aplicabilidades-Jammer.pdf>>. Acesso em 09 de abril 2019.
- Balanis, C A. Antenna Theory: Analysis and Design. 3. ed. New Jersey: Wiley & Sons, 2009. 1136 p.
- BringIT. Dicas para usar notebook e manter uma postura correta. 2013. Disponível em: <<https://www.bringit.com.br/blog/dicas/dicas-para-usar-o-notebook-e-manter-uma-postura-correta/>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.
- Bulla, G. Cálculo da taxa de absorção específica e aumento da temperatura em modelos de cabeça de adulto e criança. 2006. 98 f. Dissertação (mestrado em engenharia elétrica da UFRS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- Calla, O. P. N. et al. Empirical relation for designing the meander line antenna. In: 2008 International Conference on Recent Advances in Microwave Theory and Applications. IEEE, 2008. p. 695-697.
- Cruz, S. C. Verificação nos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a percepção das comunidades próximas. 2005. 165.f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica da PUC-Rio). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- Deng, K; Ma, M. The study and implementation of meander-line antenna for an integrated transceiver design. 2010.
- Derat, B. Body SAR and EU. MIC MRA International Workshop, Tokyo, Japan, 2014. Disponível em: <[https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/25/e\\_11.pdf](https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/25/e_11.pdf)>. Acesso em 09 de abril de 2019.

Ferreira, N L et al. Manual sobre Ergonomia: em direção a uma Universidade Saudável. São Paulo: Unicamp, 2001. 92 p.

ICNIRP. ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). HEALTH PHYSICS 74 (4):494-522; 1998.

Martins, R. M. Antenas e Propagação. Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/d/d4/5\\_1IFSC\\_Engenharia\\_ANT\\_2016\\_1.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/d/d4/5_1IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf)>. Acesso em: 21 de abril 2019

Nakano, H et al. Shortening ratios of modified dipole antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 32, n. 4, p. 385-386, 1984.

Silveira, C. B. O que é Automação Industrial? Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em: 21 de abril 2019.

Téllez Garzón, Johan Leandro. Desenvolvimento e implementação de antena planar para aparelhos celulares. 2013.

Visser, H J. Antenna theory and applications. John Wiley & Sons, 2012.