

# Análise do desempenho de antena têxtil em superfícies curvas para aplicação em WBAN

Éberte Freitas, Luann Queiroz, Jackson Silva, Samanta Holanda

**Resumo** - Este estudo determinou os parâmetros de operação de uma antena de microfita com substrato têxtil em superfícies curvas para aplicações biomédicas em *Wireless Body Area Network* (WBAN). Trata-se de uma pesquisa exploratória na modalidade de desenvolvimento tecnológico, de abordagem quantitativa, dividida em três etapas: definição e caracterização física e elétrica do material têxtil; modelagem matemática da antena; e simulação. Os resultados mostram a alteração dos parâmetros da antena conforme o aumento de sua curvatura. Apesar de viável, o projeto de antenas para aplicações *e-health* através da WBAN requer desenvolvimento centrado na aplicação.

**Palavras Chaves:** WBAN. Antena Têxtil. E-health.

**Abstract** - This study determined the operation parameters of a microfite antenna with textile substrate on curved surfaces for biomedical applications in *Wireless Body Area Network* (WBAN). It is an exploratory research in the form of technological development, of quantitative approach, divided in three stages: definition and physical and electrical characterization of the textile material; mathematical modeling of the antenna; and simulation. The results show the non-linear alteration of the antenna parameters as their curvature increases. Although feasible, antenna design for *e-health* applications through the WBAN requires application-centric development.

**Keywords:** WBAN. Textile Antenna. E-health.

## I. INTRODUÇÃO

O uso e integração de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para apoiar e aperfeiçoar o diagnóstico, garantir velocidade, eficiência e inovação na prestação de cuidados de saúde, é um dos principais desafios atuais da Atenção Primária em Saúde (APS) no Brasil, sendo fundamental no desempenho e melhorias de novas práticas e consequente alcance de um sistema de saúde mais efetivo e rentável [1, 2].

A tecnologia *Wireless Body Area Network* (WBAN), consiste em diferentes sensores fisiológicos implantados diretamente ou em contato com o organismo, com uma gama de recursos para telemedicina, e deve se tornar uma ferramenta chave no monitoramento e reabilitação remotamente supervisionados [3, 4]. Através de um *link* sem fio, essa tecnologia tem potencial para vigilância da saúde de forma contínua, proporcionando benefícios para os pacientes, profissionais da saúde e sociedade, e caracterizando-se como uma alternativa eficiente e mais acessível, sobretudo em casos de doenças crônicas, nos quais o tempo de tratamento costuma ser longo e oneroso [5].

A confiabilidade da transmissão e recepção de dados requer atenção especial quando no âmbito de risco de aplicações para a saúde. Além da segurança da informação e velocidade da transmissão, a confiabilidade dos dados afeta diretamente a qualidade da intervenção, podendo ser fatal [3].

Conforme a finalidade, os dispositivos de monitoramento podem ser dispostos em todo o corpo, não havendo consenso a respeito da localização ideal de um sensor no corpo humano, e ainda, considerando que este pode estar em movimento, que induz um canal de desvanecimento e somreamento da transmissão, é necessário o estudo da transformação do comportamento das antenas empregadas em WBAN. Jovanov [5] afirma que antes da aceitação completa da WBAN, devem ser resolvidos problemas de projetos de sistemas, segurança e privacidade, e personalização e integração entre os sensores. Para Yoo [6], qualquer mudança na geometria de antenas promove alterações de seus atributos e, portanto, seu projeto deve ser direcionado ao atendimento de alterações inevitáveis. Por fim, Osman et al [7] afirma que a geometria de antenas aplicadas ao corpo humano, deve adequar-se ao formato da região onde a antena será aplicada, que normalmente apresenta formato cilíndrico.

Este estudo tem como objetivo determinar os parâmetros de operação de uma antena de microfita com substrato de algodão e poliéster, em superfícies curvas para aplicações biomédicas em WBAN.

## II. TECNOLOGIA WBAN

A tecnologia WBAN baseia-se em redes de sensores sem fio e pode fornecer monitoramento e possibilidades de intervenção remotas, através de sensores implantados ou sobpostos ao corpo [4, 5]. Para Shen [4], a WBAN tem grandes perspectivas de potencial transformador no cuidado de idosos e deficientes, além de aplicação militares, esportes e entretenimento. A Figura 1 apresenta a estrutura da WBAN.

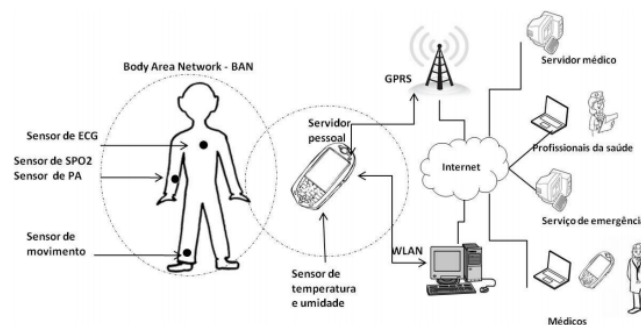


Fig. 1. – ESTRUTURA E APLICAÇÃO DA WBAN [8].

Os dispositivos envolvidos nas aplicações WBAN são: sensores, atuadores e dispositivos pessoais. Os sensores são usados para medir determinados parâmetros do corpo humano e são posicionados visando a melhor captação do estímulo monitorado, por essa razão, podem estar externos ao corpo, como em vestimentas em contato direto, ou mesmo implantados. Conforme estas especificidades, seus componentes de *hardware* são definidos, mas em geral, sensores implantados requerem maior atenção para a unidade de controle de energia, visando o aumento da vida útil e redução de manutenções. Além desses, é necessário um

transmissor ou transreceptor, unidade de memória e microprocessador. Os atuadores agem conforme os dados transmitidos pelos sensores, fornecendo uma resposta ao estímulo captado. Por fim, os dispositivos pessoais armazenam os dados adquiridos pelos sensores e atuadores, e informam ao utilizador, seja ele o paciente ou profissional de saúde, através de monitores, os índices captados pelos sensores e as possibilidades de intervenções dos atuadores. Um exemplo desse processo é a dosagem de insulina em pacientes diabéticos. Doses precisas de insulina podem ser entregues pelos atuadores conforme os sensores detectam a queda de açúcar no sangue [3, 4].

### III. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa exploratória na modalidade de desenvolvimento tecnológico, de abordagem quantitativa desenvolvida no laboratório de micro-ondas e telecomunicações do Centro Integrado de Inovação Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (CITED/Ufersa).

As etapas estabelecidas como percurso metodológico foram:

- Etapa I: Definição e caracterização física e elétrica do material têxtil;
- Etapa II: Modelagem matemática da antena;
- Etapa III: Simulação.

Cada etapa com suas particularidades e procedimentos será detalhada nos tópicos seguintes.

#### A. Definição e Caracterização Física e Elétrica do Material Têxtil

Para subsidiar o projeto de uma antena flexível composta por estruturas têxteis e voltada para aplicações biomédicas, é necessário um prévio estudo teórico dos requisitos regidos por norma para roupas hospitalares, bem como das suas características têxteis e elétricas. Dessa forma, foram realizadas duas revisões da literatura. A primeira, buscou normas regulamentadoras que versam sobre as especificações mínimas de conforto, higiene e resistência dos tecidos para uso hospitalar. A segunda visou o levantamento das características têxteis e do comportamento elétrico dos materiais constituintes do tecido selecionado.

#### B. Modelagem Matemática da Antena

Conforme a caracterização elétrica e têxtil do material utilizado no substrato realizado na Etapa I, foram empregados os métodos aproximados da Cavidade e da Linha de Transmissão para a determinação das dimensões da antena [9]. Os cálculos foram realizados com o auxílio do *software* MatLab®.

O projeto inicial necessitou de ajuste fino, o qual foi feito através do cálculo do fator de compressão (CF), dado na Equação 1, através da qual as dimensões  $W$  e  $L$  do *patch* foram redimensionadas em busca da maior proximidade a frequência 2,45 GHz.  $F_r$  corresponde a frequência de ressonância antes do ajuste.

$$CF = \left( \frac{F_r}{2.45} \right) \times 100\% \quad (1)$$

As antenas curvas foram feitas inicialmente em duas dimensões no *software* AutoCAD® aplicando a Equação 2 para determinação de seu raio de curvatura.

$$\alpha = \frac{\ell \times 180}{R \times \pi} \quad (2)$$

Em que  $\alpha$  representa o raio de curvatura,  $\ell$  e  $R$  são o comprimento e o raio do arco, respectivamente.

#### C. Simulação

A antena de microfita flexível proposta, foi simulada através do *software* High Frequency Structure Simulator® (HFSS) em quadro condições:

- Com sua superfície completamente plana, simulando a circunstância ideal de sua geometria;
- Com superfície curva em 40°;
- Com superfície curva em 60°;
- Com superfície curva em 90°.

As três condições de curvatura estudadas são representadas na Figura 2 e visaram a observação do comportamento da antena quando na aplicação junto ao braço de peças de roupas hospitalares, seja devido a variação da circunferência do braço dos usuários ou da deformação inerente e inevitável da movimentação dos pacientes.

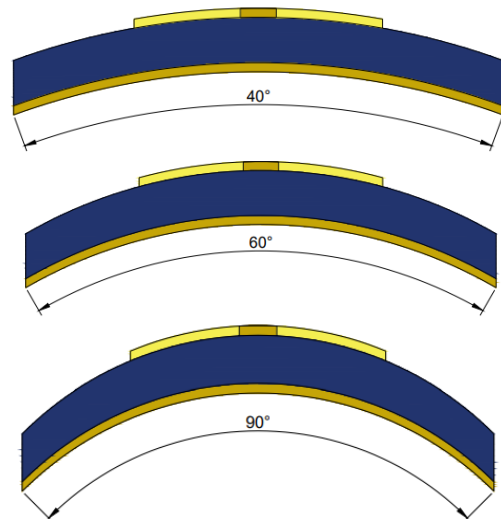


Fig. 2. – DIFERENTES SITUAÇÕES DE CURVATURA SIMULADAS

## IV. RESULTADOS

#### A. Fibras Têxteis Utilizadas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece, mediante a norma NBR 13734:2016 de primeiro de dezembro de 2016, os requisitos para fabricação dos tecidos para uso hospitalar, bem como padroniza as dimensões dos artigos obtidos a partir deles [10]. Apesar de não apresentar caráter obrigatório, o artigo em questão busca o estabelecimento de um padrão considerando para tanto, conforto, durabilidade, higienização e composições usuais no mercado atual. A Tabela I mostra as características padronizadas para uso hospitalar de quatro tecidos que atendem estas exigências, segundo a norma.

TABELA I. PADRONIZAÇÃO DOS TECIDOS PARA USO HOSPITALAR [10]

Tecido	Composição	Gramatura g/m <sup>2</sup>	Alteração dimensional máxima %		Solidez mínima à lavagem – Quando não branco		Resistência mínima à tração N/cm	
			Urdame	Trama	Urdame	Trama	Urdame	Trama
T1	100% Algodão	120	± 5,0	± 3,0	4 - 5	4 - 5	8,0	5,0
T2	100% Algodão	190	± 5,0	± 3,0	4 - 5	4 - 5	8,0	5,0
T3	50% Algodão 50% Poliéster	110	± 5,0	± 3,0	4 - 5	4 - 5	8,0	6,5
T4	50% Algodão 50% Poliéster	170	± 5,0	± 3,0	4 - 5	4 - 5	8,0	6,5

Guerra [11] e Holanda [12] realizaram ensaios físicos e químicos conforme as normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para a determinação da titulação, gramatura, resistência à tração, estabilidade dimensional e caracterização elétrica de doze malhas para aplicação em antenas flexíveis. Dentre as malhas está a de Algodão (CO) e Poliéster (PES) e foi a escolhida para o desenvolvimento dos estudos desse trabalho por ser uma das composições que se adequam aos requisitos da NBR 13734:2016 e figurar entre o conjunto dos principais tipos utilizados comercialmente [11]. A Tabela II apresenta as características têxteis do tecido.

TABELA II. ESTABILIDADE DIMENSIONAL, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, TITULAÇÃO E GRAMATURA [11]

	Coluna	Curso	Área
<b>Pré-lavagem (cm)</b>	10	10	100
<b>Pós-lavagem (cm)</b>	8,9	9	80,1
<b>Varição (%)</b>	11	10	19,9
<b>Força (N)</b>	178,45	185,58	-
<b>Alongamento (%)</b>	190	124,8	-
<b>Ne</b>	12,5		
<b>Tex</b>	47,2		
<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	243,6667		

Na Tabela II o parâmetro Tex e Ne representam, respectivamente, o Sistema de medição direta desenvolvido pelo *The Textile Institut* e o Sistema de medição indireta inglês com unidade de comprimento em jardas, respectivamente.

A caracterização elétrica do material têxtil, Tabela III, determinou a constante dielétrica, e o fator de perdas e tangente de perdas, os quais são resultantes das propriedades físicas e químicas dos ensaios anteriores e foram empregadas nos métodos da cavidade e da linha de transmissão para o dimensionamento da antena.

TABELA III. CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA [11]

Estrutura	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan \delta$
Jersey	1,754	0,206	0,118

### B. Parâmetros e Dimensionamento da Antena

Conforme as propriedades da malha escolhida para o substrato da antena de microfita flexível em estudo foi

realizado o seu dimensionamento. A Tabela IV apresenta as características do projeto.

TABELA IV. CARACTERÍSTICAS DA ANTENA COM SUBSTRATO COMPOSTO POR CO E PES

Parâmetro do Projeto	Valor
$f_r$ (GHz)	2,45
$\epsilon_r$	1.7663
$\tan \delta_{\text{dielétrico}}$	0,1177
$\sigma_{\text{condutor}} (\text{S.m}^{-1})$	$5,8 \times 10^7$
$W$ (mm)	50,56
$L$ (mm)	43,26
$W_m$ (mm)	7,89
$L_m$ (mm)	23,49
$h$ (mm)	2,22
$W_a$ (mm)	104,04
$L_a$ (mm)	93,09
$CF$ (%)	97,02

As dimensões do plano de terra e do substrato ( $W_a$  e  $L_a$ ) são iguais e foram determinadas proporcionalmente aos valores do *patch*. A Figura 3 apresenta em detalhes as dimensões da antena.

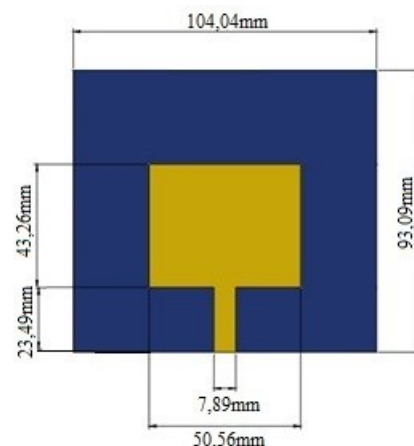


Fig. 3. – DIMENSÕES DA ANTENA TÊXTEL CO E PES APÓS FATOR DE COMPRESSÃO NO PATCH

Para a análise da taxa de absorção local da radiação, visando o suporte para estudos futuros do uso de sensores para sinalização de risco de disfunção cardiovascular, foi escolhido o braço esquerdo devido ao número recorrente de tecnologias esportivas em uso cujo acoplamento se dá nessa região. A Figura 4 apresenta o local escolhido para posicionamento das antenas.

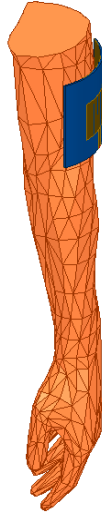


Fig. 4. DISPOSIÇÃO DA ANTENA CURVA EM 90° SOBRE O BRAÇO ESQUERDO.

Os parâmetros e propriedades de todas as quatro condições de curvatura da antena foram determinados sem que houvesse contato com o braço, estando a influência da permeabilidade dos tecidos do mesmo restrita aos ensaios para a determinação do SAR.

### C. Coeficiente de Reflexão

Através das dimensões obtidas, as antenas foram desenhadas e simuladas e os resultados de perda de retorno para as quatro antenas encontram-se dispostos na Figura 5.

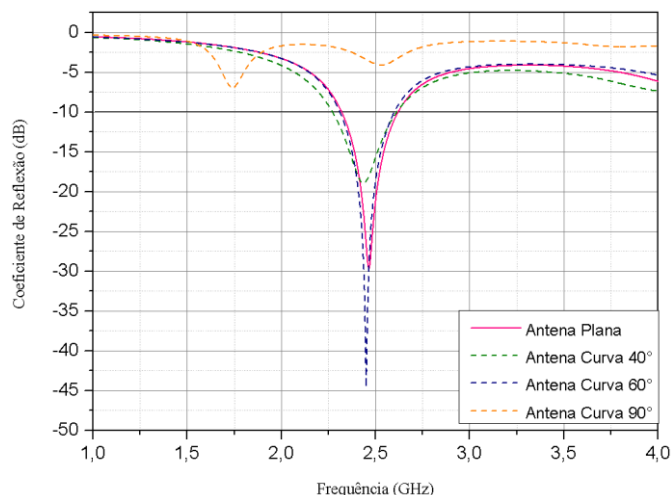


Fig. 5. – COEFICIENTE DE REFLEXÃO DAS ANTENAS SIMULADAS NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DE 1 A 4 GHz.

Por meio da análise da Figura 5 é possível aferir que a antena curvatura de 90° foi a única que não ressoou na faixa de frequência estipulada, apresentando seu primeiro modo para 1.7407 GHz (-6,9106 dB).

O pico da primeira frequência de ressonância da antena em sua condição plana ocorre em de 2,465 GHz (-29,5927 dB) com largura de banda de 296,3 MHz. Para a curva em 40° ocorre em 2,4414 GHz (-18,8778 dB) com largura de banda de 336,3MHz. Se tratando da antena curva em 60°, o pico ocorre em 2.4496 (-44,5544 dB) com largura de banda de 284,3 MHz. Assim, com exceção da condição de 90° de curvatura, todas ressoaram abaixo de -10 dB, estando dentro da faixa de aplicação para o padrão IEEE 802.11b da banda ISM.

### D. Densidade de Corrente Superficial

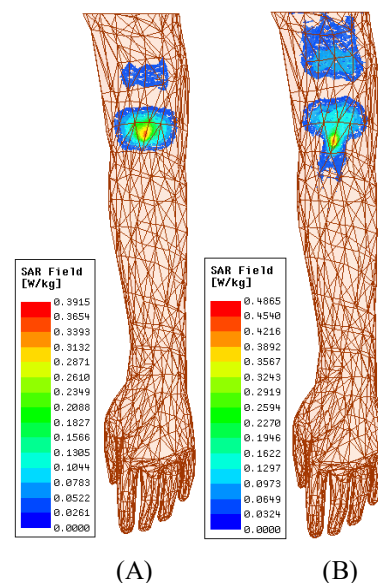
Observou-se que apesar de todas as antenas simuladas apresentarem mesmo valor de constante dielétrica e tangente de perdas, sua distribuição geométrica atuou de forma significativa no comportamento da densidade linear de corrente. Na antena plana este parâmetro concentra-se no início da linha de transmissão e no centro do patch, apresentando densidade máxima de corrente igual a 25,12 A/m.

A corrente distribui-se de forma quase uniforme sobre a superfície da antena quando curva em 60°, concentrando-se em alguns poucos pontos, justificando seu elevado valor máximo de densidade de corrente.

A antena curva em 90° foi a única que ressoou abaixo de -10 dB e apresenta os menores valores de densidade de corrente superficial. Como o HFSS utiliza o método dos elementos finitos, não realizando precisamente superfícies curvas, mostrou-se incapaz de determinar a corrente na superfície da linha de transmissão da antena nessa curvatura, discriminando apenas os valores no *patch*.

### E. SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR)

De acordo com o Padrão IEEE C96.1:2005, 2W/kg é o valor máximo admissível para o SAR. Nas análises realizadas, este valor variou de acordo com o grau de curvatura de cada antena, sem, no entanto, ser ultrapassado por nenhuma delas. A Figura 6 apresenta o SAR das quatro condições de curvatura da antena obtido para a frequência de maior coeficiente de reflexão de cada uma delas.



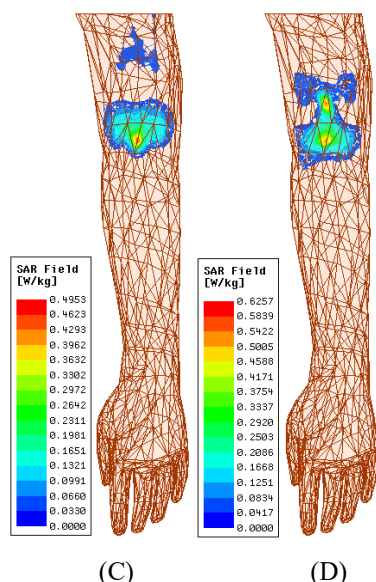


Fig. 6. TAXA DE ABSORÇÃO ESPECÍFICA DA ANTENA PLANA (A), CURVA EM 40° (B), 60°(C) E 90°(D)

A distância entre o braço e antena foi mantida para todas as quatro situações estudadas, e observou-se a linearidade dos valores da SAR conforme a curvatura da antena, uma vez que o aumento do SAR foi visto na sucessão entres as condições plana (0,39 W/kg), curva em 40° (0,48 W/kg) e em 60° (0,49 W/kg) e a de 90° (0,62 W/kg). Todas figuraram dentro do padrão IEEE C96.1:2005.

A penetrabilidade de radiação nos tecidos se deu de forma similar entre as condições estudadas, não alcançando o centro do membro. A Tabela V apresenta em resumo os parâmetros da antena de microfita flexível analisada nas quatro condições de curvatura.

TABELA V. PARÂMETROS DA ANTENA NAS QUADRO CONDIÇÕES ANALISADAS

Parâmetro	Plana	40°	60°	90°
Ganho máximo (dB)	1,23	1,69	1,33	0,9
Frequência de ressonância (GHz)	2,46	2,44	2,33	1,74
Coefficiente de Reflexão (dB)	-29,59	-18,87	-44,55	-6,91
Largura de banda (MHz)	296,3	336,3	284,3	-
Corrente superficial média (A/m)	25,12	25,67	141,02	21,62
SAR (W/kg)	0,39	0,48	0,49	0,62

## V. CONSLUSÕES

Na etapa de revisão literária foi possível a escolha e caracterização de um dos tecidos padronizados para uso hospitalar e, embora este não apresente as mesmas propriedades de gramatura e resistência dimensional estabelecidos pela normativa, sua proximidade com os valores exigidos e os encontrados comercialmente suportam sua escolha e subsidiaram o desenvolvimento das etapas de modelagem e simulação. O tecido de algodão e poliéster

estudado é, portanto, indicado para fabricação de antenas para uso em WBAN

Na modelagem matemática, os métodos da Cavidade e da Linha de Transmissão mostraram-se eficazes, embora tenha sido necessário o cálculo do fator de compressão para alcance mais preciso da faixa de frequência ISM. A combinação dos softwares AutoCAD® e HFSS® mostrou-se eficaz na construção e simulação de antenas curvas, sendo os resultados obtidos fundamentais para a avaliação do comportamento da antena.

Além de questões sociais, de segurança e privacidade, a implantação de ferramentas *e-health* através da WBAN requer desenvolvimento centrado na aplicação, uma vez que se observou a modificação dos padrões da antena conforme sua curvatura, explicitada pelo maior coeficiente de reflexão atingido em 2.45 GHz dentre as condições do estudo, -44,55dB, não ser da antena plana e sim da curva em 60° e a menor, -6,91 dB, que não ressoou, da de 90°.

Assim, ao final deste trabalho, pode-se concluir que a normalização dos tecidos para uso hospitalar precisa ir além da busca por conforto e higienização, preocupando-se também no atendimento de condições mínimas de implementação das novas ferramentas de telemedicina.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Gaw, "Precision medicine and improving future health care to an ageing population," (in English), *Perspectives in public health*, vol. 136, no. 2, p. 77, 2016.
- [2] A. T. Stein and C. P. Ferri, "Inovação e avanços em atenção primária no Brasil: novos desafios," (in Português), *Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade*, vol. 12, no. 39, pp. 1-4, 2017.
- [3] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Networks*, vol. 17, no. 1, pp. 1-18, 2011.
- [4] J. Shen, S. Chang, J. Shen, Q. Liu, and X. Sun, "A lightweight multi-layer authentication protocol for wireless body area networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 78, pp. 956-963, 2018.
- [5] E. Jovanov, A. Milenkovic, C. Otto, and P. C. De Groen, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation," *Journal of NeuroEngineering and rehabilitation*, vol. 2, no. 1, p. 6, 2005.
- [6] H.-J. Yoo, "Your heart on your sleeve: advances in textile-based electronics are weaving computers right into the clothes we wear," *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 59-70, 2013.
- [7] M. A. Osman, M. Rahim, N. Samsuri, M. Elbasheer, and M. Ali, "Textile UWB antenna bending and wet performances," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, 2012.
- [8] K. C. N. d. Silva, "Monitoramento da saúde humana através de sensores: análise de incertezas contextuais através da teoria da evidência de Dempster-Shafer," Universidade de São Paulo, 2013.
- [9] C. A. Balanis, *Teoria das antenas: análise e síntese. vol. 1 e 2. 3ª ed.* Grupo Gen-LTC, 2009.
- [10] *NBR 13734: Produtos têxteis para saúde - Características de lençóis, fronha e pijama hospitalar*, 2016.
- [11] J. R. F. Guerra, "Projeto de antena de microfita flexível utilizando de tecido malha a base de fibras naturais e sintéticas," 2016.
- [12] S. M. d. Holanda, "Estudo e desenvolvimento de antenas de microfita utilizando tecido de malha a base de fibras têxteis compostas," Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2016.