



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO, DE
CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E
COMPUTAÇÃO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Lucas Endo Prestes

**Wearables: Definição de Parâmetros para Antenas Vestíveis a partir da
revisão da literatura**

Blumenau 2023

Lucas Endo Prestes

**Wearables: Definição de Parâmetros para Aantenas Vestíveis a partir da
revisão de literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno

Blumenau

2023

Ficha de identificação da obra

Endo Prestes, Lucas

Wearables: Definição de Parâmetros para Antenas Vestíveis a partir da revisão de literatura / Lucas Endo Prestes ; orientador, Ana Julia Dal Forno, 2023.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Wearables e Antenas . 3. Parâmetros. 4. Indústria 4.0. I. Dal Forno, Ana Julia. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

Lucas Endo Prestes

**Wearables: Definição de Parâmetros para Antenas Vestíveis a partir da
revisão de literatura**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, dia 11 de julho de 2023.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Blumenau

Profa. Dra. Rosiane Serrano
Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS Campus Erechim

Prof. Dra. Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Blumenau

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos
meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por Sua presença constante em minha vida e por me guiar até aqui. Sem Sua orientação e força, eu não teria superado os obstáculos, vencido as dificuldades e alcançado a conclusão do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Sua Graça e amor incondicional me sustentaram em cada etapa, me dando força e ouvindo minhas súplicas em minhas orações.

Agradeço a minha amada família, cujo apoio incondicional foi essencial em todos os momentos. Onde estiveram ao meu lado, encorajando-me, incentivando-me e proporcionando o suporte emocional necessário para seguir em frente. As palavras de ânimo, abraços calorosos e compreensão constante foram verdadeiros pilares que me fortaleceram em momentos de cansaço e desânimo. Sou grato por todo o amor, incentivo e sacrifícios que fizeram para me ajudar a alcançar meus objetivos acadêmicos.

À minha estimada professora orientadora Ana Julia Dal Forno, muito obrigado pela sua orientação, dedicação e apoio durante todo o processo do meu TCC. Sua expertise, sabedoria e paciência foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e para a qualidade do meu trabalho. Suas sugestões valiosas, críticas construtivas e insights enriqueceram minha pesquisa, e sou imensamente grato por sua disponibilidade em compartilhar seu conhecimento e experiência comigo.

Também agradeço todo o corpo docente da UFSC Blumenau que contribuiu com o meu desenvolvimento acadêmico, fica aqui o meu muito obrigado. A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Por último, mas, não menos importante ao grupo de pesquisa de *Wearables*, onde englobam várias pessoas de diversas instituições a qual tenho feito parte durante esses dois últimos semestres, onde puderam contribuir para a realização desse trabalho e sou muito grato por isso.

RESUMO

Este trabalho aborda sobre antenas vestíveis, uma tecnologia contemporânea que visa facilitar a vida do usuário com dispositivos inteligentes. Com o rápido avanço da tecnologia, os *wearables* tornaram uma parte indispensável de nossas vidas, permitindo monitoramento de saúde, entreterimento e área militar. No entanto, para superar o desafio da falta de conforto, uma solução promissora são as antenas vestíveis, projetadas para serem incorporadas diretamente nos dispositivos ou em tecidos. Essas antenas oferecem diversas vantagens tais como mobilidade, conforto, qualidade e diversas aplicações. Nesse contexto, essa pesquisa teve o objetivo de identificar os parâmetros existentes para as antenas vestíveis. Então, a metodologia de revisão sistemática de literatura mapeou esses parâmetros, dentre eles, os materiais existentes, os processos de fabricação, a comunicação e transmissão dos dados, os formatos e demais critérios importantes conforme a aplicação. Além disso, são discutidos os desafios de integração entre as antenas e os *wearables*, como a interferência eletromagnética e a otimização do desempenho da comunicação, fatores importantes na era da quarta revolução industrial. Esses casos de uso demonstram o potencial das antenas vestíveis, melhorando a funcionalidade e a estética dos *wearables*, permitindo uma comunicação sem fio eficiente e discreta. Por fim, foram comparados dois protótipos, de Atanasova *et al.* (2022) e Wagih *et al.* (2022), nas quais foram avaliados os desempenhos dos parâmetros de antenas, tais como a relação de onda estacionária de tensão (VSWR), taxa de absorção específica (SAR), diretividade e ganho, S11 e largura de banda. O contínuo avanço da tecnologia da indústria 4.0, espera-se que os *wearables* se tornem cada vez mais presentes no nosso dia-a-dia, além de serem cada vez mais tecnológicos, acessíveis e confortáveis.

Palavras-chave: Têxteis Inteligentes; Indústria 4.0; Tecnologia, protótipo.

ABSTRACT

This work addresses wearable antennas, a contemporary technology that aims to facilitate the user's life with smart devices. With the rapid advancement of technology, wearables have become an indispensable part of our lives, enabling health monitoring, entertainment, and the military. However, to overcome the challenge of lack of comfort, a promising solution is wearable antennas, designed to be created directly on devices or fabrics. These antennas offer several advantages such as mobility, comfort, quality and several applications. In this context, this research aimed to identify the existing parameters for wearable antennas. Then, the systematic literature review methodology mapped these parameters, among them, the existing materials, the manufacturing processes, the communication and transmission of data, the formats and other important criteria according to the application. In addition, the integration challenges between antennas and wearables are discussed, such as electromagnetic interference and the optimization of communication performance, important factors in the era of the fourth industrial revolution. These use cases demonstrate the potential of wearable antennas, functional functionality and aesthetics of wearables, enabling efficient and discreet wireless communication. Finally, two prototypes, by Atanasova et al. (2022) and Wagih et al. (2022), in which the performances of antenna parameters were evaluated, such as voltage standing wave ratio (VSWR), specific absorption rate (SAR), directivity and gain, S11 and bandwidth. With the continuous advancement of industry 4.0 technology, it is expected that wearables will become increasingly present in our daily lives, in addition to being increasingly technological, accessible and comfortable.

Keywords: *Smart Textiles; Industry 4.0; Technology, prototype.*

LISTA FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Passos da Metodologia.....	16
Figura 2 – Aplicação dos <i>Wearables</i>	21
Figura 3 – Pilares das Antenas Vestíveis	22
Figura 4 – Países com mais Publicações.....	22
Figura 5 – Estrutura de Antenas Vestíveis	24
Figura 6 – Aplicações de <i>Bluetooth</i>	25
Figura 7 – Aplicações de <i>Zigbee</i>	25
Figura 8 – Antenas Dipolos	30
Figura 9 – Antena <i>Microstrip</i>	31
Figura 10 – Antena Helicoidal	32
Figura 11 – Parâmetros da Eletrodinâmica	33
Figura 12 – Distribuição percentual dos ensaios por tipo de produto.....	35
Figura 13 – Resultados SAR nos dispositivos Analisados	36
Figura 14 – Material Grafeno	39
Figura 15 – Costura de Antena através de Bordado.....	44
Figura 16 – Antena <i>Microstrip</i> Bordado no Feltro	45
Figura 17 – Processo de Serigrafia.....	46
Figura 18 – Jaqueta Metahead Verde Escuro	47
Figura 19 – Protótipo Criado	48
Figura 20 – Desenho da Antena	51

LISTA FIGURAS E TABELAS

Tabela 1 - Artigos Analisados	17
Tabela 2 - Comparação entre Meios de Comunicação	26
Tabela 3 - Comparação entre tipos de WBAN.....	29
Tabela 4 - Comparação entre os tipos de Antenas.....	33
Tabela 5 - Parâmetros presentes nos 20 Artigos	37
Tabela 6 - Antenas H1, H2 e H3 com Potencial 0,1 eV.....	41
Tabela 7 - Antenas H1, H2 e H3 com Potencia de 0,2 eV.....	41
Tabela 8 - Antenas H1, H2 e h3 com Potencial 0,3 eV	42
Tabela 9 - Comparação entre a Antena proposta e de outros Autores.....	42
Tabela 10 - Análise de Desempenho de Antena Vestível de banda única com e sem metamateriais	43
Tabela 11 - Tabela 11- Parâmetros do (Atanasova <i>et al.</i> , 2022)	49
Tabela 12 - Substratos Presentes.....	49
Tabela 13 - Comparação dos Valores de SAR.....	50
Tabela 14 - Parâmetros do Artigo 2.....	50
Tabela 15 - Comparação entre Autores	51

ABIT	<i>Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
BCC	<i>Comunicação Centrada no Corpo</i>
CNT	<i>Nanotubos de Carbono</i>
CKA	<i>Cloth-based Antennas</i>
DGS	<i>Defected Ground Structures</i>
EBG	<i>Electromagnetic Band Gap</i>
ECD	<i>Antenna Radiation Efficiency</i>
GNPA	<i>Antena Nano Patch de Grafeno</i>
GSA	<i>Global Mobile Suppliers Association</i>
HPBW	<i>Half Power Beamwidth</i>
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
MDM	<i>Mode Division Multiple Access</i>
MIMO	<i>Multiple In Multiple Out</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
OAM	<i>Ondas de Momento Angular Orbital</i>
OMS	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SAR	<i>Taxa de Absorção Específica</i>
UFPA	<i>Universidade Federal do Pará</i>
VSWR	<i>Standing Wave Radio</i>
WBAN	<i>Wireless Body-Area Networks</i>
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 METODOLOGIA.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 <i>WEARABLES</i> E ANTENAS	20
3.2 COMUNICAÇÃO	24
3.2.1 <i>Bluetooth</i>	24
3.2.2 <i>Zigbee</i>	25
3.2.3 <i>Wi-Fi</i>	26
3.2.4 Comunicação 5G.....	26
3.2.4.1 <i>WBAN</i>	27
3.3 TIPOS DE ANTENAS	29
3.3.1 Dipolos	29
3.3.2 Dipolos Cruzados.....	30
3.3.3 <i>Microstrip</i>	31
3.3.4 Helicoidal.....	32
3.3.5 <i>Loop</i>	32
3.4 ELETRODINÂMICA	33
3.4.1 <i>S11</i>	34
3.4.2 Largura de Banda	34
3.4.3 Taxa de Absorção Específica (SAR)	34
3.4.4 Diretividade e Ganho.....	36
3.5 MATERIAIS DE ANTENAS	37
3.5.1 Metamaterial.....	38
3.5.2 Antenas de Grafeno	39
3.6 ALIMENTAÇÃO.....	43
3.6.1 Cabo Axial.....	43
3.6.2 Acoplamento por Abertura.....	43
3.6.3 Linha de Microfita.....	43

SUMÁRIO

3.7 TÉCNICAS DE PRODUÇÃO	44
3.7.1 Processo de Costura e Bordado	44
3.7.2 Serigrafia	45
3.7.3 Impressão à Jato de Tinta.....	46
3.8 LAVAÇÃO.....	46
4 RESULTADOS	48
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é uma revolução na forma como as indústrias aplicam e utilizam a tecnologia a seu favor. Trata-se de uma nova era industrial impulsionada pela convergência de tecnologias digitais, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem. Contudo, a evolução tecnológica chegou em um patamar de ser Indústria 5.0, onde sua abordagem emergente busca combinar a automação avançada com a colaboração entre humanos e máquinas. A indústria 5.0, também conhecida como sociedade 5.0, é o passo mais recente da revolução industrial. Segundo a Equals (2023) a quinta revolução industrial não pretende substituir ainda mais as pessoas por máquinas ou robôs. Na verdade, o intuito da indústria 5.0 é gerar uma reconciliação e um equilíbrio entre seres humanos e sistemas inteligentes.

Segundo Deloitte (2023) a próxima geração de tecnologia de comunicações móveis 5G trará serviços inovadores para consumidores e empresas. Será também um dos mais importantes motores de inovação e crescimento econômico nas próximas décadas, responsável pela criação de milhares de novos empregos. Para os consumidores que dependem de conectividade confiável para atividades como o trabalho e a educação, o 5G será capaz de suportar milhões de dispositivos em velocidades ultrarrápidas, transformando a vida das pessoas ao oferecer uma experiência de uso similar a redes fixas de fibra óptica. Nesse contexto, a fim de acompanhar a era tecnológica, os dispositivos vestíveis (*wearables*) e as antenas vestíveis que os compõem emergem para impulsionar a conectividade e promover novas possibilidades em diversos setores.

Segundo Zhang *et al.* (2017) as antenas têm um papel significativo pela transmissão de sinal e recepção como um sistema que reúne e comunica informações valiosas para um hospital ou centro de processamento de dados. Para Liu (2017) suas aplicações sofisticadas como: telemedicina, radar e mobile, se beneficiaram de pesquisas sobre tecnologias "on-body". Partindo da ideia dos famosos WBAN's ou seja, das redes de área corporal sem fio, do inglês (*Wireless Body-Area Networks*).

Existe uma crescente na área de *wearables* e dispositivos acoplados ao corpo humano para aquisição de dados, segundo a Febrabantech (2023), as remessas globais destes dispositivos em 2023 devem atingir 442,7 milhões de unidades este ano, alta de 6,3% na comparação com 2022. No cenário tecnológico atual a conectividade é um elemento essencial para impulsionar a troca de informações e permitir a comunicação eficiente entre dispositivos e pessoas.

Contudo, as antenas vestíveis também têm obstáculos, como a lavagem, descarte dos materiais e que as compõem, além de restrições de comunicação e eletrodinâmica. Essas desvantagens são características das antenas vestíveis. À medida que a pesquisa e desenvolvimento avançam, é provável que muitos desses problemas sejam abordados e superados, desta maneira os

resultados são antenas vestíveis mais eficientes e confiáveis.

Este presente trabalho será apresentado uma comparação entre os materiais e parâmetros a serem analisados para uma escolha eficiente de antena para aplicações têxteis. Ao longo do trabalho também serão avaliadas as evoluções dessa tecnologia sob os critérios relacionados à automação (tipos de antenas aplicadas, sistemas de comunicação incluindo o 5G, materiais mais eficientes), evolução do tema, além dos resultados e viabilidade de implementação juntamente com suas tecnologias.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é comparar as antenas vestíveis para aplicações têxteis, por meio de uma revisão bibliográfica.

Assim, os objetivos específicos são:

- a) Conceituar antena vestível;
- b) Identificar documentos e materiais para o desenvolvimento de antenas vestíveis;
- c) Definir cenários de utilização de antenas vestíveis com relação aos resultados;

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa pesquisa começou contextualizando a tecnologia *wearable*, um fator integrante da indústria 4.0. A seção 2 é destinada à metodologia que descreverá os passos da revisão sistemática de literatura. Na seção 3 há a revisão de literatura a partir dos documentos analisados na metodologia, além de ver as aplicações. Com isso, o formato, comunicação, eletrodinâmica, materiais e processo de fabricação são descritos como parte do projeto de antenas vestíveis. Na seção 4 tem a análise e comparação de parâmetros a partir dos autores pesquisados, na sequência há a conclusão e, por fim, as referências são listadas.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste artigo foi orientada pelo método *Literature Grounded Theory* (CARDOSO ERMEL *et al.*, 2021). Assim, foram seguidas as etapas de projeto, revisão, análise e apresentação dos resultados conforme Figura 1.

- Revisão Sistemática da Literatura - Pesquisa e definição de critérios de literatura e análise de artigos relacionados ao tema de antenas vestíveis do ano de 2022. Foram identificados a partir dos resumos as relações com *wearables*, largura de banda, SAR, dentre outros. Para a execução dessa etapa usou-se as bases de dados IEEE e *Science Direct*.
- Definição dos Parâmetros - Identificação dos parâmetros e requisitos das antenas vestíveis.
- Seleção de Tecnologias e Dispositivos - Pesquisa e análise dos diferentes materiais utilizados em antenas vestíveis. Escolha das tecnologias mais adequadas com base nos requisitos estabelecidos.
- Resultados - Discussão dos resultados e comparação com as pesquisas existentes.

Figura 1 – Passos da Metodologia



Fonte: Autor (2023)

Diante disso, serão apresentados 20 artigos que foram analisados e estudos para o entendimento do tema proposto. O objetivo dessa pesquisa é responder os questionamentos com foco em antena vestível (*wearable antenna*), representado na Tabela 1. Além disso, os parâmetros que serão analisados foram levados em conta os artigos selecionados a partir da filtragem de conteúdo, a levar em conta a eficácia e prototipagem da antena em sua aplicabilidade. Com os isso, foram aplicados 6 pontos a serem analisados formato da antena, comunicação, material, eletrodinâmica, técnicas de produção e alimentação.

Tabela 1 – Artigos Analisados

Nº	Autor	Título	Periódico
01	Arrooq e Rather(2022)	<i>A miniaturised Ka/V dual band millimeter wave antenna for 5G body centric network applications</i>	Alexandria Engineering Journal
02	Sherrem et al.(2022)	<i>A review of achieving frequency reconfiguration through switching in microstrip patch antennas for future 5G applications</i>	Alexandria Engineering Journal
03	Chaouche et al.(2022)	<i>A wearable Circularly Polarized Antenna Backedby AMC Reflector for WBAN Communication</i>	IEEE Access
04	Godoneli et al. (2022)	<i>Wearable Dual-Mode Repeater Antenna for Implant Communication</i>	IEEE Access
05	Gao et al. (2022)	<i>A wideband Metasurface Antenna With Dual-Band Dual-Mode for Body-Centric Communications</i>	IEEE Transactions on Antenna and Propagation
06	Kareem et al. (2022)	<i>All-textile inspired-folded dipole antennas for on/off-Body communications medical applications</i>	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
07	Zaidi et al. (2022)	<i>Impact of Bending Performance of the Electro-Textile Antennas with Bandwidth</i>	Alexandria Engineering Journal
08	Ullah et al. (2022)	<i>Design and Characterization of a Planer Structure Wideband Millimeter-Wave Antenna With Wide Beamwidth for Wearable Off-Body Communications</i>	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
09	Marongiu et al. (2022)	<i>Design and Characterization of Modified Comb Patch Antennas</i>	IEEE Access
10	Khan et al. (2022)	<i>Design of a Compact Hybrid Moore's Fractal Inspired Wearable Antenna for IoT Enable Bio-Telemetry in Diagnostic Health Monitoring System</i>	IEEE Access
11	Wu et al. (2022)	<i>Design of Quasi-Endfire Aperture Surface Plasmon Polariton Leaky-Wave Textile Wearable Antenna</i>	IEEE Access
12	Gao et al. (2022)	<i>Dual-Mode Patch Antenna With Capacitive Coupling Structure for On-off Body Applications</i>	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
13	Low et al. (2022)	<i>Backed Stretchable Slot Antenna for Human Body</i>	IEEE Transactions on Antenna and Propagation
14	Li et al. (2022)	<i>Low-Profile All-Textile Multiband Microstrip Circular Patch Antenna for WBAN Application</i>	IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters
15	Wagih et al. (2022)	<i>Millimeter-Wave Power Transmission for Compact and Large-Area Wearable IoT Devices Based on a Higher Order Mode Wearable Antenna</i>	IEEE Internet of Things Journal
16	Malar et al. (2022)	<i>Novel aperture coupled fractal antenna for Internet of Wearable Things (IoWT)</i>	Measurement Sensors:

17	Kaur, Chawala (2022)	<i>Performance Analysis of Novel Wearable Textile Antenna Design for Medical and Wireless Applications</i>	Wireless Personal Communications
18	Musa <i>et al.</i> (2022)	<i>Recent Advanced of Wearable Reconfiguration Antenna Technologies: A review</i>	IEEE Access
19	Le <i>et al.</i> (2022)	<i>Wearable Pattern- Diversity Dual-Polarized Button Antenna for Wearable on/off Body Communications</i>	IEEE Access
20	Mahfuz <i>et al.</i> (2022)	<i>Wearable Textile Patch Antenna: Challenges and Future Directions</i>	IEEE Access

Fonte: Autor (2023)

Nesse presente trabalho será apresentado uma comparação entre os materiais e parâmetros analisados para uma escolha eficiente de antena para aplicações têxteis. Ao abordar os parâmetros relacionados com antenas vestíveis é importante considerar os seguintes aspectos:

- a) **Comunicação:** A comunicação das antenas vestíveis desempenha um papel fundamental na viabilização desses dispositivos e na sua integração aos sistemas industriais. Para que as antenas vestíveis possam transmitir e receber dados de forma eficiente, as comunicações mais utilizadas são: *Wifi, Zigbee e Bluetooth*.
- b) **Formatos das Antenas:** O formato das antenas vestíveis pode variar dependendo da aplicação e dos requisitos específicos do dispositivo. Existem diferentes formatos de antenas que podem ser incorporados em roupas ou acessórios. Alguns exemplos comuns incluem: *Microstrip, Helicoidal, Loop, Dipolo* ou *Dipolo Compartilhado*.
- c) **Alimentação:** Alimentação das antenas vestíveis pode ser realizada de diferentes maneiras, dependendo da aplicação específica e das restrições de energia. Os exemplos mais comuns são: *Cabo coaxial, Acoplamento por abertura e Linha de microfita*.
- d) **Eletrodinâmica:** Eletromagnetismo é uma teoria da física onde descreve como cargas elétricas em movimento criam campos magnéticos e como campos magnéticos variáveis induzem correntes elétricas. Diante disso os pontos a serem analisados são: *SAR, Diretividade e Ganho, Largura de Banda e S11*.
- e) **Técnicas de Produção:** Refere-se ao conjunto de processos e procedimentos utilizados na produção de um produto. Cada processo tem suas vantagens e desvantagens. Os mais populares são *bordado/costura, serigrafia e impressão a jato de tinta*.
- f) **Material:** O material é a base da matéria prima das antenas vestíveis. Os materiais mais comuns são os metamateriais (metais) ou grafenos.

Diante dos objetivos apresentados, geram-se também perguntas que serão respondidas ao longo do presente trabalho:

- a) O que são antenas vestíveis, suas aplicações, vantagens e desafios?
- b) Quais são os parâmetros de desempenho das antenas?
- c) Como comparar esses parâmetros?
- d) Quais as tendências e evolução da tecnologia de antenas vestíveis?

3 REVISÃO DE LITERATURA

A partir dos artigos resultantes da busca em bancos de dados, como *IEEE* e *Science Direct*, resultaram em 20 artigos do ano de 2022. Assim, essa seção irá abordar o conceito de antena vestível, aplicações e parâmetros utilizados pelos autores em relação ao tema.

Os Autores têm explorado diversos parâmetros para otimizar o desempenho das antenas vestíveis, aplicabilidade e conceito de antenas vestíveis. A combinação de têxteis inteligentes, Indústria 4.0 e comunicação através de antenas vestíveis abre um leque de possibilidades para a criação de produtos e serviços inovadores que aumentam a conectividade e melhoram a experiência dos consumidores no mundo moderno.

3.1 WEARABLE E ANTENAS VESTÍVEIS

As antenas vestíveis são redes de dispositivos de comunicação sem fios implantadas, “vestíveis” (*wearable*, integrados no vestuário), ou usadas na proximidade do corpo humano, onde são as *Wireless Body Area Network* (WBAN) (HALL, HAO, 2012).

Diante do crescimento deste setor no Brasil, a tecnologia entra como uma parceira com o objetivo de trazer ainda mais benefícios, isso inclui os níveis de utilização dos conceitos da Indústria 4.0. De acordo com Inforchanell (2023), prevê-se que o mercado de *wearable* irá crescer e alcançar 186 bilhões de dólares até 2030.

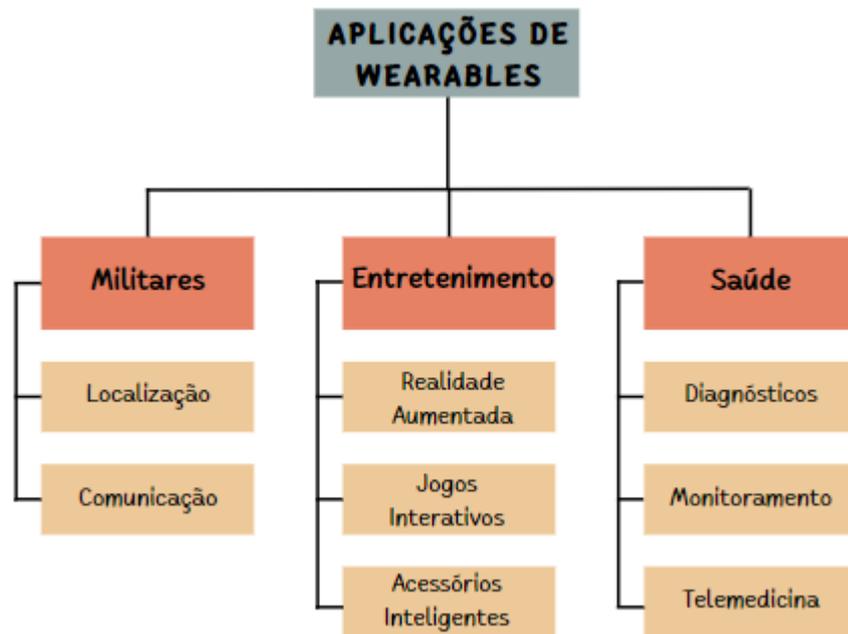
Wearable technology são dispositivos eletrônicos utilizados ou sustentados próximo ao corpo do usuário com o intuito de coletar dados e informações (O’NASCIMENTO, 2020). A interação entre o usuário e o ambiente, sem limitar os movimentos (DONATI, 2004). Durante atividades motoras e/ou cognitivas, são pontos essenciais dos *wearables*.

Muitos pontos são levados em conta para o projeto e a construção de *wearables*, sendo na forma de fibra, fio, tecido e incorporados no vestuário (SHAK SADI, KUMPIKAITE, 2022). Os critérios para dispositivos eletrônicos vestíveis são, que eles devem ser confortáveis e fornecer vida útil razoavelmente longa e com saída de energia apropriada, além de processos de fabricação de baixo custo (MOKHTARI *et al.* 2020).

Assim, os termos “tecnologia vestível” e “dispositivos vestíveis” descrevem computadores e eletrônicos integrados as roupas e outros acessórios que podem ser usados confortavelmente no corpo (MOKHTARI, *et al.* 2020). Dentro dos *wearables*, há a presença de sensores. Os sensores são dispositivos que coletam informações sobre o ambiente ou sobre o corpo humano, como: temperatura, movimento, pressão, umidade e entre outros. Esses dispositivos são capazes de armazenar e transmitir as informações coletadas para aplicativos.

A tecnologia de sensores tem uma grande importância na relação com *wearables*, permitindo a coleta de informações em tempo real e monitorização de diversas atividades físicas e biológicas. Como existem diversas aplicações e modelos dentro do mercado de sensores, a melhor escolha depende da aplicação específica e das condições de operação do sistema. A Figura 2 representa as aplicações dos *wearables*, em diferentes categorias.

Figura 2 – Aplicações dos *Wearables*



Fonte: Autor (2023)

À medida que a tecnologia vestível continua a avançar, os wearables estão cada vez mais populares e integrados em diversas áreas. No entanto, para possibilitar uma experiência completa e eficiente, é essencial considerar o papel das antenas vestíveis, onde elas desempenham um papel crucial na transmissão e recepção de sinais de comunicação sem fio.

A partir da análise dos 20 artigos, em específico sua definição, verificou-se que não há um entendimento prévio sobre este assunto. Uma das definições mais completas de antena vestível está no trabalho de Farooq e Rather (2022):

Antenas vestíveis são uma tecnologia de comunicação que podem potencialmente suportar alta taxa de dados, deve ser altamente compacto, flexível, com baixo consumo de energia e seu desempenho não deve ser reduzido pelo corpo humano. Tal antena deve ser capaz de operar em frequências múltiplas e exibem alto ganho, desempenho estável e redução da Taxade Absorção Específica (SAR).

Para Low *et al.* (2022) antenas vestíveis são pilares para a comunicação sem fio com outros dispositivos ON ou OFF do corpo humano com aplicações de digitalização militar, monitoramento de saúde e dispositivos de monitoramento de glicose.

Para Mahfuz *et al.* (2022) é um sistema eficiente e flexível conectado com o corpo humano para comunicação sem fio. Para Chaouche *et al.* (2022), as antenas são dispositivos integrados em dispositivos vestíveis que tem diversas aplicações nos setores de entretenimento pessoal, saúde e defesa.

Segundo Kaur, Chawala (2022), são tecnologias vestíveis que incluem a integração de antenas leves, confortáveis e compactas na roupa ou em outros acessórios vestíveis. Para Mala, Ganesh (2022), antena desempenha um papel significativo na transmissão de sinal e recepção como sistema que reúne e comunica informações valiosas para o hospital ou centro de processamento de dados.

Segundo Kareem *et al.* (2022) antenas vestíveis surgem com a necessidade para atender a várias aplicações vestíveis; como: rastreamento, navegação, militar, esportes e monitoramento de saúde.

Ou seja, as antenas vestíveis são dispositivos de transmissão que podem ou não ser acoplados ao corpo humano e tem como objetivo coletar dados das pessoas para proporcionar a flexibilidade e conforto que ocasionalmente os sensores não possuem. Essas antenas possuem três pilares - acoplação à roupa ou ao corpo, a antena vestível e transmissão de dados (vide Figura 3).

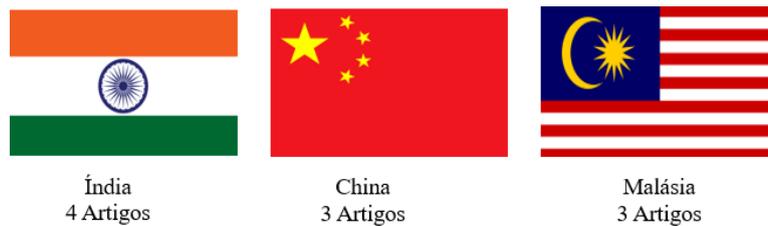
Figura 3 – Pilares Antenas Vestíveis



Fonte: Autor (2023).

Após a análise dos 20 artigos de 2022, verificou-se que os países em destaque em publicações sobre antenas vestíveis foram: Índia, China e Malásia. Outros países com publicações também são: Egito, Estados Unidos, Arábia Saudita, Itália, Polônia, Coreia do Sul (vide Figura 4).

Figura 4- Países com mais Publicações



Fonte: Autor (2023)

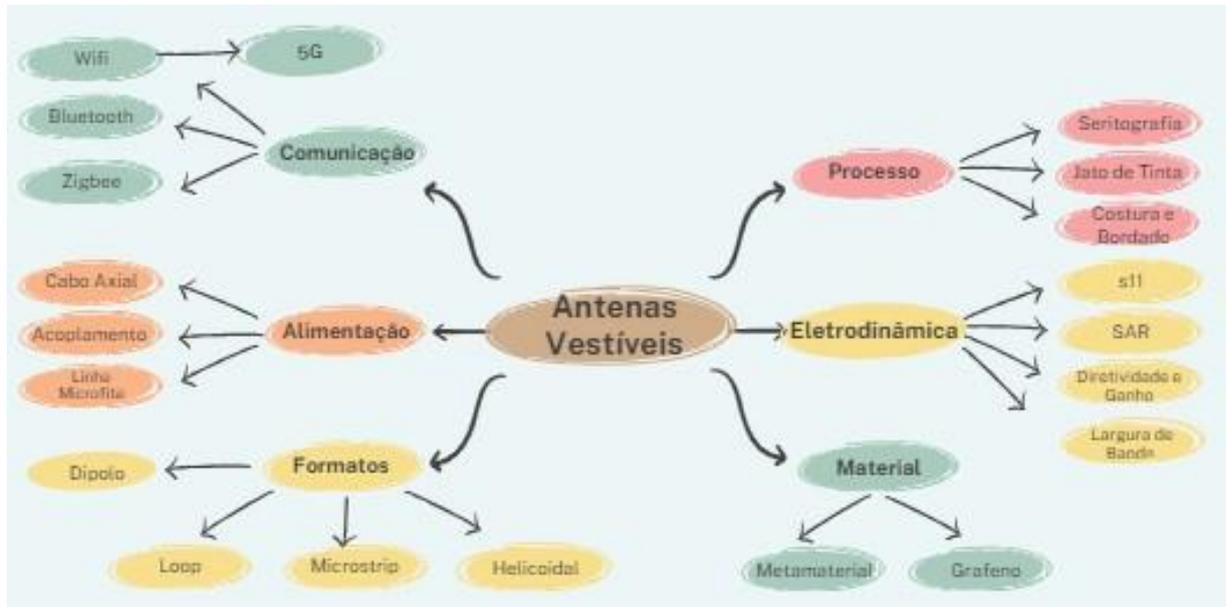
Em termos de aplicações, para Wagih *et al.* (2022), propõe uma antena vestível de transmissão de energia de onda milimétrica compacto em dispositivos IoT vestíveis. No artigo de Li *et al.* (2022), faz a criação de uma Antena Circular Patch para aplicações WBAN. Para Zaidi *et al.* (2022), realizou a criação de uma antena planar baseada em tecido com a dimensão de 90×100 milímetros e três *slots*. Refere-se a uma abertura estreita e alongada que permite a inserção ou encaixe de algo dentro dele e foram aplicados no terreno para criar os *Defected Ground Structures* (DGS) são padrões geométricos com o intuito de melhorar o desempenho.

Outros protótipos e aplicações criadas foram:

- a) Antena de modo duplo e banda dupla para comunicações centradas dentro/fora do corpo (GAO *et al.* 2022);
- b) Antena vestível reconfigurável (MUSA *et al.* 2022);
- c) Antena repetidora de slot com fundo de cavidade vestível (GODONELI *et al.* 2022);
- d) Antena vestível para biotelemetria habilitada para IoT no sistema de monitoramento de diagnóstico de saúde (KHAN *et al.* 2022);
- e) Antenas *patch* (forma física é semelhante a um remendo retangular ou quadrado) com modificação de características (adaptadas para a aplicabilidade) (MARONGIU *et al.* 2022);
- f) Uma Antena Circularmente Polarizada Vestível por refletor AMC (Absorber Material Control) é uma estrutura acoplada na antena, com o objetivo de reduzir o SAR (CHAOUICHE *et al.* 2022);
- g) Antena têxtil vestível com material jeans, usado como um conjunto de substrato tendo a permissividade relativa de $1,6 \text{ Farad por metro}$ (F/m) (KAUR, CHAWALA, 2022);
- h) Antenas dipolo dobradas para aplicações médicas (KAREEM *et al.* 2022).

Diante dessa revisão bibliográfica, foi realizado um mapa conceitual para melhor entendimento sobre os pilares de análise em uma antena vestível, assim mostra-se também o que será apresentado. Isso pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura de Antenas Vestíveis



Fonte: autor (2023)

3.2 COMUNICAÇÃO

A comunicação entre os *wearables* e outros dispositivos é uma das características mais importantes desses dispositivos. Essa área está em constante evolução e a comunicação depende da aplicação, contudo, as formas mais utilizadas são: *Bluetooth*, *Wi-Fi*, e *ZigBee*. Essas tecnologias permitem que os *wearables* transmitam dados para outros dispositivos, como smartphones e computadores, para análise e processamento.

Bao, Intille (2018) analisaram a eficácia das tecnologias sem fio para a comunicação entre *wearables* e dispositivos móveis. Os autores descobriram que a tecnologia *Bluetooth* é a mais amplamente utilizada e a mais eficaz para a comunicação entre dispositivos vestíveis e móveis. Além disso, a tecnologia *Wi-Fi* tem um alcance maior, mas, é mais exigente em termos de energia do que outras tecnologias sem fio.

3.2.1 *Bluetooth*

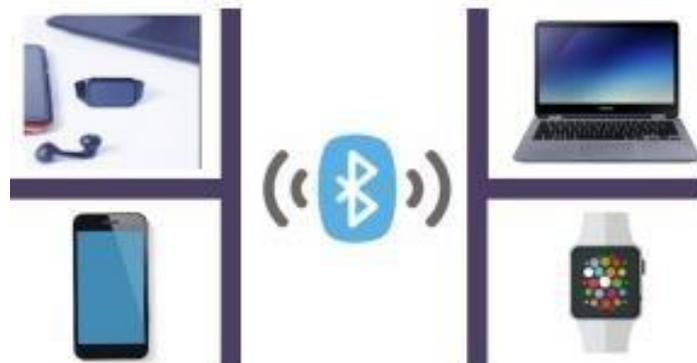
Segundo a UFRJ (2010) *Bluetooth* é comunicação que autoriza a conectividade de aparelhos eletrônicos, essa comunicação utiliza como ferramenta

uma rede sem fio (*wireless*), o que lhe permite uma grande mobilidade e um baixo custo. A conexão é feita através de ondas de rádio de curto alcance e permite uma transferência de dados de aproximadamente 1 Mbps.

Uma grande vantagem dessa comunicação é o fato de ser muito segura, pois ela utiliza a comunicação criptografada garantindo segurança entre os dispositivos conectados e exclui qualquer tipo de interferência na comunicação entre os dispositivos.

Com a vantagem de ser segura, rápida e com baixo custo, ela está principalmente nos aparelhos eletrônicos móveis, que necessita de uma rede maleável, de baixo consumo de energia e uma taxa de transferência de médio porte, levando vantagens sobre tecnologias como a *Wi-Fi* e *ZigBee*. (ARAÚJO, 2017). A Figura 6 representa as diversas aplicações desse meio de comunicação.

Figura 6- Aplicações do *Bluetooth*



Fonte: Autor (2023)

3.2.2 Zigbee

Segundo Araujo (2017), a tecnologia *ZigBee* é um protocolo de rede sem fio de baixa taxa de dados, baixo consumo de energia e baixo custo voltado para aplicações de automação e controle remoto (vide Figura 7).

Segundo Embarcados (2021), o sistema é especificado para operar em uma das bandas livres de licenças a 2,4 GHz, 915 MHz e 868 MHz a 2,4 GHz, a taxa máxima de dados é 250 kbps. Esta comunicação é a preferida para automação residencial e aplicativos baseados em IoT, onde dispositivos de baixa potência e taxas de dados mais baixas são preferidos.

Os dispositivos *Zigbee* geralmente podem operar por vários anos com uma única carga de bateria, pois consomem pouca energia e podem ser colocados no modo de hibernação por períodos prolongados. (THINGSBR, 2023).

Figura 7- Aplicações de ZigBee



Fonte: Araujo (2021)

3.2.3 Wi-Fi

Wi-Fi é uma tecnologia de rede sem fio que permite que computadores (laptops e desktops), dispositivos móveis (smartphones e dispositivos vestíveis) e outros equipamentos (impressoras e câmeras de vídeo) se conectem à Internet. O Wi-Fi permite que esses e muitos outros dispositivos troquem informações entre si, criando uma rede. A conectividade com a Internet ocorre por meio de um roteador sem fio. Quando você acessa o Wi-Fi, está se conectando a um roteador sem fio que permite que os dispositivos compatíveis com Wi-Fi façam interface com a Internet (CISCO, 2023).

Segundo a Elsys (2013) o termo *Wi-Fi* é uma abreviação de *Wireless Fidelity*, nome alusivo à expressão “*Hi-Fi*” (*High Fidelity*), usada pela indústria fonográfica na década de 50. A Tabela 2 é um comparativo entre os meios de comunicação apresentados.

Tabela 2- Comparações entre meios de Comunicações

Comunicação	Vantagens	Desvantagens	Alcance (metros)
<i>Bluetooth</i>	Baixo consumo de energia; Conexão Fácil; Compatibilidade.	Alcance limitado; Velocidade de transferência de dados limitada; Capacidade limitada de conexões simultâneas.	10
<i>Zigbee</i>	Baixo consumo de energia; Alcance estendido; Suporte para conexão em malha.	Velocidade de transferência de dados limitada; Amplamente suportado.	10 - 100

<i>Wi-Fi</i>	Alta velocidade de transferência de dados; Alta cobertura de alcance; Suporte para múltiplas conexões	Consumo de energia; Configuração mais complexa	30 - 50
--------------	---	---	---------

Fonte: Autor (2023).

3.2.4 Comunicação 5G

A evolução tecnológica de comunicação tem a cada dia melhorado a tecnologia refletindo em redes móveis e aplicações em *Internet of Things* (IOT) no ramo industrial e doméstico. A rede 5G passou por grandes mudanças desde a era do 3G, onde apresentou frequências mais altas e ondas milimétricas (mmWave) para fornecer velocidades mais rápidas e maior capacidade de dados.

Devido à apresentação de diversas vantagens, há necessidade de grandes investimentos estruturais, como por exemplo, antenas específicas para o 5G. Segundo a *Global Mobile Suppliers Association* (GSA, 2023), a rede 5G está sendo implantada em todo o mundo, com mais de 70 países atualmente comprometidos com a implementação da tecnologia através de 460 companhias.

Estima-se que até 2028, haverá mais de 5 bilhões de conexões 5G em todo o mundo (ERICSSON, 2022). As antenas 5G também podem ser projetadas para suportar *Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas* (MIMO), permitindo que vários dispositivos se comuniquem simultaneamente com a rede 5G. Isso pode melhorar a capacidade da rede e a eficiência espectral, permitindo que mais dados sejam transmitidos simultaneamente. Segundo o site Infomoney (2022) a tecnologia 5G vai gerar investimentos de até 25.5 bilhões de dólares no Brasil até 2025.

Um grande diferencial dessa comunicação é que sistemas IoT e *ciberfísicos* podem se comunicar com o servidor, sem ter latência de rede e perda de sinal, assim garantindo maior segurança, confiabilidade e conforto aos usuários de *wearables*.

3.2.4.1 Wban

Essa rede, traduzida do inglês *Wireless Body Area Network* para rede de Área Corporal sem Fio, visa a comunicação entre si de dois dispositivos vestíveis com a comunicação externa com o propósito de transmitir ou enviar os dados.

As redes de área corporal sem fio (WBAN) são um ramo das redes de sensores sem fio (WSN) e diante disso, tem atraído muitas pesquisas. O surgimento

de WBAN pode aliviar ou mesmo resolver alguns problemas sociais, segundo Jijesh *et. al* (2017), como, doenças crônicas crescentes e aumento da população envelhecida.

Embora o rápido desenvolvimento da tecnologia de sensores e da tecnologia de comunicação tenha levado ao progresso do WBAN, a tecnologia ainda está em sua infância e ainda existem muitos problemas e desafios em sua pesquisa e aplicação (NIDHYA, *et. al.* 2017).

Segundo Qu *et. al.* (2019), são necessários três níveis para envio e recebimento de informações. O nível 1 é composto por sensores conectados à superfície do corpo ou implantados no corpo. Sua função é coletar e transmitir diversas informações fisiológicas sobre o corpo humano. O nível 2 é composto por smartphones, computadores pessoais ou outros dispositivos eletrônicos inteligentes. As informações enviadas pelos sensores são encaminhadas ao *data center* do terminal por meio de um modo sem fio. No nível 3 do WBAN, ou a última camada é o centro de dados do terminal é composto principalmente por servidores remotos que fornecem vários aplicativos. Sua função é coletar e analisar os dados recebidos, para fornecer uma resposta dinâmica. Abaixo estão os meios de comunicação mais comuns da rede *Wi-Fi*, (OAM, MDM e MIMO).

Na comunicação, as *Ondas de Momento Angular Orbital* (OAM) se referem a uma forma avançada de ondas eletromagnéticas que possuem momento angular orbital intrínscio. Essas ondas têm a capacidade de transportar mais informações do que as ondas eletromagnéticas. Segundo Ren *et. al.* (2014) ondas com momento angular orbital têm sido investigadas como uma nova dimensão na comunicação sem fio, com o potencial de aumentar significativamente a capacidade de transmissão e superar os limites impostos pelas técnicas tradicionais.

Já o meio de comunicação MDM (*Mode Division Multiple*) permite que diversos usuários compartilhem apenas um canal de comunicação de modo a ser diferente o meio de transmissão. Isso só é possível pelo fato de que a luz pode ser transmitida por mais de um "caminho" através de cabos de fibra óptica.

Segundo Bozinovic *et. al.* (2013) a multiplexação por divisão de modo (MDM) é uma técnica promissora para aumentar significativamente a capacidade de transmissão em sistemas de comunicação óptica. Ao explorar os diferentes modos de propagação de luz em uma única fibra óptica, o MDM permite a transmissão simultânea de múltiplos sinais independentes, aumentando assim a taxa de transferência de dados.

Por fim, o MIMO, sigla para *Multiple In Multiple Out* (MIMO) é uma técnica de comunicação que usa múltiplas antenas e que ambas transmitem e recebem para melhorar a confiabilidade e capacidade da comunicação *wireless* (ZHENG e TSE, 2023). Quanto mais antenas para envio e recebimento de sinais, melhor e mais rápido será o envio para diversos aparelhos, já que também tem a facilidade de ter múltiplas saídas.

Há uma otimização na hora do transmissor enviar o sinal, e na hora do receptor interpretar o sinal. Essa é uma das razões que explicam as altas taxas de transmissão que podem ser alcançadas com MIMO. De acordo com a aplicação e aparelhos conectados nessa comunicação, a necessidade de ter números de antenas iguais para recepção e envio dos sinais não é parâmetro, isso mostra que podem ser diferentes, mas a maior parte possui uma quantidade igual de sensores. O mais comum são pares 2x2 e 4x4.

O MIMO ainda está na fase inicial, mas os poucos que estão em estágio mais avançado de execução mostram como essa tecnologia pode auxiliar e melhorar as transmissões sem fio. Dentre as aplicações que fazem uso de MIMO, destacam-se:

- a) *Wi-Fi* - 802.11n;
- b) *WiMAX* - 802.16e;
- c) *RFID* (Radio Frequency Identification);
- d) Redes 3G e 4G.

A Tabela 3 é um comparativo entre os tipos de comunicação WBAN'S apresentados.

Tabela 3 – Comparações entre os tipos de comunicação WBAN

Comunicação	Vantagens	Desvantagens
OAM	Potencial de aumentar a capacidade do sinal; Pode transmitir diferentes informações em diferentes OAM's.	Requer componentes específicos; Requer alinhamento específico entre transmissor e receptor.
MDM		Sensível a interferência e

	<p>Pode aumentar a largura de banda e eficiência espectral;</p> <p>Permite a transmissão simultânea de múltiplos sinais independentes em diferentes modos de propagação.</p>	<p>degração do sinal devido a distorções modais;</p> <p>Necessita de equalização e processamento digital sofisticado.</p>
MIMO	<p>Adequado a aplicação de Wi-Fi, 4G e 5G;</p> <p>Potencial para melhorar a cobertura e o desempenho em ambientes com multipercurso;</p> <p>Aumenta a capacidade e confiabilidade do sistema através de múltiplas antenas.</p>	<p>Requer o uso de múltiplas antenas, o que interfere no custo e consumo de energia;</p> <p>Complexidade alta de projeto e implementação.</p>

Fonte: Autor (2023).

3.3 TIPOS DE ANTENAS

As antenas vestíveis são projetadas para serem compactas, flexíveis e confortáveis de usar, ao mesmo tempo em que fornecem um desempenho adequado de comunicação sem fio. Dentre os tipos de antenas vestíveis, destacam-se as antenas Dipolo, Dipolo Cruzados, *Microstrip*, Helicoidal e *Loop*.

3.3.1 Dipolo

O primeiro tipo de antena é a antena Dipolo, ela transmite e recebe sinais em todas as direções do seu campo eletromagnético, sua alimentação é através de sua corrente, onde cada condutor liga a um ponto de alimentação. Por ser bidirecional, torna também as antenas dipolos úteis em aplicações de comunicação de curto alcance, como em redes locais sem fio (*Wi-Fi*). (RAPPAPORT, 2002).

A desvantagem desse tipo de antena é não apresentar uma grande eficiência ou desempenho, visto que o comprimento da antena é linear ao comprimento da onda gerada, desta forma apresentando frequência muito altas ou muito baixas. Além disso, as antenas dipolos têm um ganho relativamente baixo em comparação com outras antenas direcionais (POZAR, 2011).

Contudo, para essa antena existe uma técnica de utilizar um refletor na parte traseira do dipolo a fim de direcionar melhor o sinal e maximizar sua eficiência. Na

Figura 8 pode ser visto uma uma antena dipolo.

Figura 8 – Antenas Dipolo



Fonte: BALANIS (2016).

3.3.2 Dipolos Cruzados

Na classificação de antenas dipolos, existe também outro tipo de antena, como por exemplo: antenas dipolos cruzados. As antenas de dipolos cruzados, também conhecido como (X-Dipolos) apresentam dois dipolos posicionados perpendicularmente.

Segundo Oliveira (2016), esta antena é composta de um *patch*, uma estrutura condutora utilizado como elemento irradiante da antena de dipolo cruzado quando o diodo está no estado *off*, reversamente polarizado, e uma estrutura quando o diodo está no estado *on*, diretamente polarizado. O *patch* do dipolo cruzado tem uma característica de filtro que rejeita faixa, e a outra parte vai se comportar como um filtro que passa faixa na frequência de interesse projetada. A segunda estrutura tem como célula unitária a abertura dipolo cruzado quando o diodo está no estado ligado e *patch* quadrado quando o diodo está no estado *off*, ou seja, não há condução.

A direção do sinal nesse tipo de antena depende de sua largura (largura do feixe), sendo determinada pelo ângulo entre os dois dipolos cruzados. Quanto menor for esse ângulo, maior será a diretividade, mas também menor será a largura do feixe.

3.3.3 Microstrip

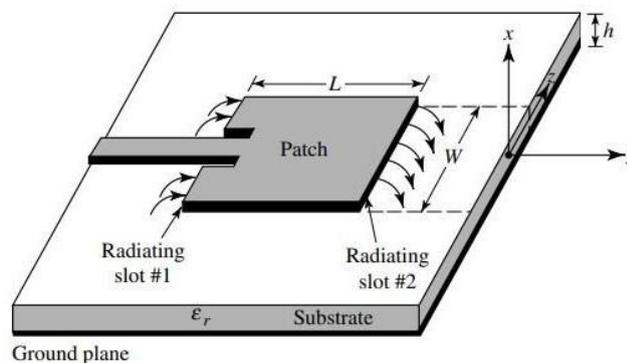
As antenas de microfita do inglês (*microstrip*) surgiu há mais de 60 anos atrás. Segundo Agrawal et al. (2017), têm-se registros de patentes dessas antenas em

1955. Nesse tipo de antena é o mais utilizados para *wearables* de maneira geral apresentam grande eficiência, desempenho excelente e menor tamanho. Além de *wearables* é muito utilizada para sistemas de comunicação contemporâneos, como os IoT's.

A estrutura da antena de *patch* de *microstrip* consiste em uma camada de substrato dielétrico, a camada de substrato dielétrico é uma camada produzida a partir de material isolante colocada entre os componentes eletrônicos com uma parede de metal em cima, onde o metal é recortado para formar um *patch*. A eficiência da antena depende de vários fatores, como as dimensões do *patch*, a espessura do substrato e as propriedades dielétricas do substrato (AGRAWAL *et al.*, 2017).

Diante disso, existem diversos estudos de aplicabilidade e avanços tecnológicos nessa área de comunicação. Segundo Liao *et al.* (2019) apresentaram uma técnica de otimização para melhorar a largura de banda e a eficiência da antena de *patch* de *microstrip*. Um exemplo desse tipo de antena pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Antena *Microstrip*



Fonte: BALANIS (2016).

3.3.4 Helicoidal

As antenas helicoidais são fabricadas através de um cilindro, onde se torna uma base para ser enrolada através do formato espiral. Nesse tipo de antena (Figura 10) apresenta grande eficiência por sua polarização ser controlada pelo cilindro através do movimento rotacional (em seu próprio eixo). Essa antena tem diversas aplicações, mas geralmente é muito utilizada em comunicação de rádios

amadores e satélite. O formato e projeto desse tipo de antena pode ser alterado a fim de se ter uma maior eficiência de transmissão de sinal. Um estudo realizado por Smith; Johnson (2005) demonstrou que as antenas helicoidais são eficientes em termos de radiação e alta resistência mecânica.

Figura 10 – Antena Helicoidal



Fonte: ALSARAIIRA *et al.* (2016).

3.3.5 Loop

Através de pesquisas realizadas para esse tipo de antena, percebeu-se que a aplicação e utilização de materiais condutores de alta condutividade, através do grafeno, pode aumentar a eficiência das antenas *loop* em frequências mais altas (KIM *et al.* 2017).

Essas antenas funcionam de forma parecida como as já apresentadas (a corrente que passa pela antena gera-se um campo eletromagnético e com isso utiliza-se esse campo para transmissão de sinais). Porém, seu projeto é através de um fio condutor ou concentrado em um circuito eletrônico.

As antenas *loop* são capazes de operar em uma ampla gama de frequências, dependendo do tamanho e formato do *loop*, bem como das características do circuito eletrônico conectado a ele (BALANIS, 2016).

A utilização de técnicas avançadas de processamento de sinais, pode melhorar ainda mais o desempenho das antenas *loop*. A Tabela 4 pode ser visto uma comparação entre os tipos de antenas apresentadas.

Tabela 4 – Comparações entre os Tipos de Antenas

Antena	Vantagens	Desvantagens
Dipolo	Simplicidade de construção; Baixo custo; Largura de Banda aceitável.	Ganho moderado; Ocupa espaço físico moderado.
Dipolos Cruzados	Pode ser usado para recepção e transmissão simultâneas; Polarização circular; Boa rejeição de ruído.	Complexidade de fabricação; Baixa largura de banda.
<i>Microstrip</i>	Ideal para integração de dispositivos compactos; Baixo custo de fabricação;	Baixo ganho; Suscetível a perdas devido a efeitos de radiação.
Helicoidal	Alta eficiência radiante; Amplas faixas de frequência; Alta resistência mecânica.	Dimensão relativamente grande; Complexidade de fabricação e ajuste;
<i>Loop</i>	Alta eficiência em frequências baixas; Pode ser usada em polarização vertical ou horizontal.	Largura de banda estreita; Menor ganho em relação a outras antenas; Sensível a presença de objetos próximos.

Fonte: Autor (2023).

3.4 ELETRODINÂMICA

Os parâmetros da eletrodinâmica estão relacionados com as características fundamentais ou propriedades das antenas que são relevantes para seu desempenho, no caso de antenas vestíveis, os pilares que precisam ser analisados para uma boa eficiência e desempenho das antenas têxteis (vide Figura 11).

Figura 11 – Parâmetros da Eletrodinâmica



Fonte: Autor (2023)

3.4.1 S11

Segundo Bevelacqua (2008) S11 representa quanta potência é refletida da antena, e portanto é conhecido como coeficiente de reflexão ou perda de retorno. Se S11 tem valor 0, representa que toda potência é refletida da antena e nada é irradiado. Se $S_{11} = -10\text{dB}$, isso implica que 3dB de potência for entregue à antena, -7dB é a potência refletida. Uma vez que as antenas são normalmente projetadas para serem de baixa perda, idealmente a maior parte da energia entregue à antena é irradiada.

3.4.2 Largura de Banda

Segundo a Intel (2018), largura de banda refere-se à quantidade de dados que podem ser transmitidos em um período de tempo fixo. Isto não é o mesmo que a velocidade. É medida em *bits* por segundo (bps) e indica a quantidade de dados que pode ser transmitida através de uma rede em um determinado período de tempo. A largura de banda é a faixa de frequências em que os parâmetros da antena têm desempenho de acordo com um padrão especificado (BALANIS, 2016).

3.4.3 Taxa de Absorção Específica - SAR

A *Taxa de Absorção Específica* (SAR) é o valor de radiação emitido por aparelhos de comunicação sem fio. A *Organização Mundial de Saúde* (OMS), recomenda baixos valores para evitar que se prejudique a saúde das pessoas. No Brasil, a *Agência Nacional de Telecomunicações* (ANATEL) regulamenta esses valores no processo de certificação dos equipamentos de telecomunicações, isso inclui rádios amadores, celulares, tablets e entre outros.

Na realização destes testes para aprovação ou reprovação dos aparelhos de comunicação são avaliados a potência máxima de emissão de radiação, através do seu máximo valor de emissão de potência. Desta forma, garante-se que a medida dos valores máximos de SAR aos quais o consumidor poderá estar exposto ao utilizar o equipamento. Segundo o Ministério de Comunicações (2020) a Resolução 242, de 30 de novembro de 2000, ao ser reprovado em qualquer teste de certificação, incluído o SAR, o aparelho não obtém a homologação da ANATEL, diante do fato, não poderá ser comercializado no Brasil.

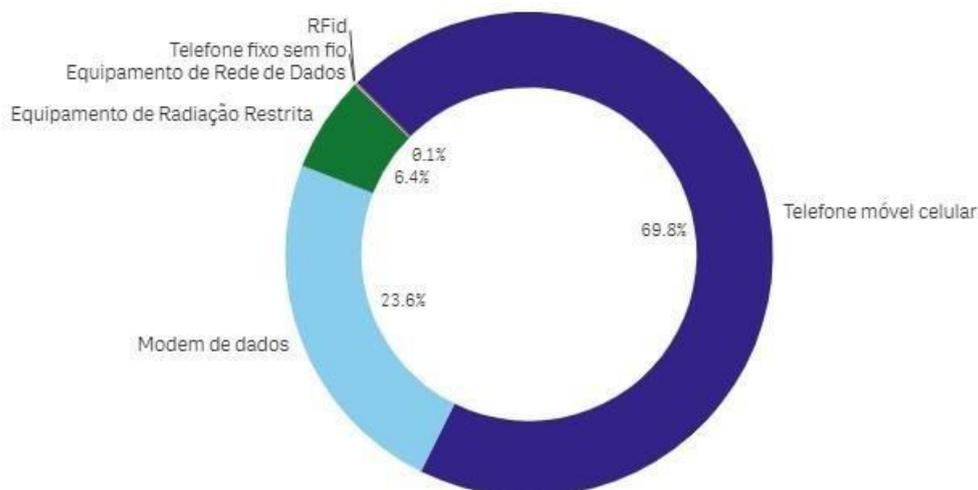
Quando o corpo é submetido à radiação por esses aparelhos que utilizam radio-frequências, a temperatura do tecido humano em contato aumenta, mas

esse aumento é pequeno, sendo assim desprezível. Segundo a Organização Mundial da Saúde reconhece limites de SAR como uma medida preventiva de segurança ao usuário.

O limite de radiação é referenciado da norma do *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP). Este valor deve ser avaliado como o valor de pico das médias dos valores de SAR avaliados em quaisquer 10 gramas de tecido. Ou seja, caso sejam medidos picos de SAR superiores a 2W/Kg em um ponto específico, isso não significa que o aparelho está em desconformidade com a norma, pois o valor que deve ser levado em conta é o de maior média avaliada em 10 gramas de tecido contíguo (ANATEL, 2020).

Foi realizado uma pesquisa durante os anos 2013-2019 pela ANATEL com mais de 18 mil medidas entre diversos aparelhos de comunicação, que utilizam *Wi-Fi* e/ou *bluetooth* e são submetidos a homologação pela Anatel. A Figura 12 apresenta a distribuição percentual dos ensaios realizados, por tipo de produto. Como pode ser observado, 69.8% dos aparelhos são celulares, outro percentual, 22.6% são modem de dados, os outros percentuais são distribuídos em *RFID*, telefones fixo sem fio, e equipamentos de radiação restrita e de rede de dados.

Figura 12– Distribuição percentual dos ensaios realizados, por tipo de produto.



Fonte: ANATEL (2020)

Como pode ser observado Figura 13, a partir dos testes realizados, nenhum dispositivo classificado de acordo com sua frequência atingiu o valor máximo de 2 W/Kg

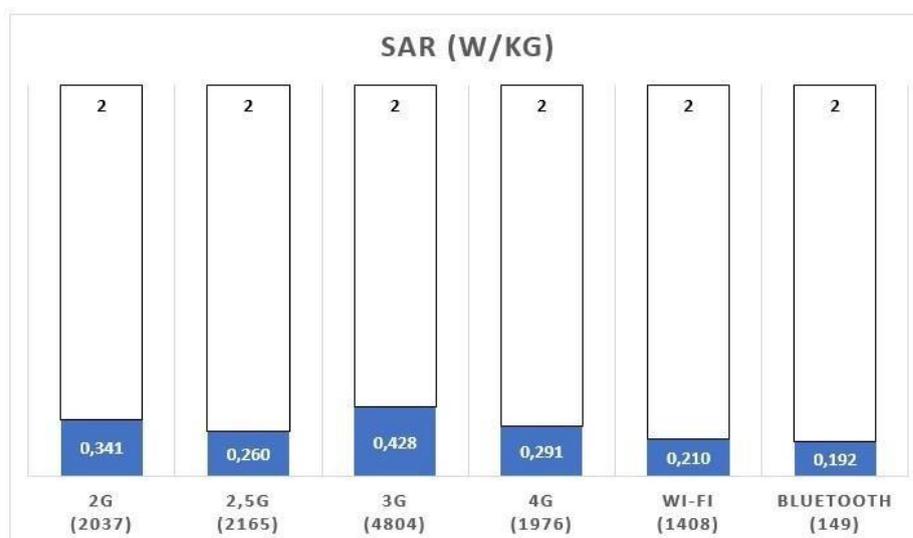
que a ANATEL recomenda, ficando assim dentro dos conformes e podendo ser comercializado no Brasil. No exemplo da Figura 13, existem 2037 dispositivos eletrônicos testados na frequência 2G que atingiram o valor de 0,341 SAR e assim podem ser comercializados, pois o limite é de até 2. Uma observação é que não necessariamente o 3G que tem o valor maior significa que seja melhor que os demais.

Um estudo por Wang *et.al.* (2018) para antenas vestíveis utilizaram uma antena de banda dupla, ou seja, uma antena capaz de operar em duas frequências (2,45GHz e 5,8GHz). Juntamente com uma potência de entrada de 0,5 Watts. Considerando também 1g e 10g de tecidos, a distribuição de SAR e os valores máximos de SAR.

A partir dos testes simulados no CST MWS, (*software* de simulação eletrodinâmica) mostrou que tecidos de 1g a quantidade de SAR presente é maior do que em tecidos de 10g.

As frequências de 2,45GHz têm uma condutividade menor do que a outra frequência comparada. Diante disso, a concentração de radiação nessa frequência também é maior. O valor de 17.5 W/Kg equivale a um valor de 875% maior que o recomendado de 2W/Kg. Isso mostra que o SAR da antena proposta nas frequências de 2,4 e 5,8 GHz é muito alto e acima dos limites especificados definidos por as autoridades reguladoras e, portanto, medidas adicionais devem ser tomadas para reduzir o SAR ao limite seguro.

Figura 13 – Resultados de SAR nos Dispositivos



Fonte: ANATEL (2020)

Uma forma de mudança para redução do SAR é alterar o tipo de antena

desejada, nos testes utilizaram-se antenas de multibandas, assim, deve-se alterar para antenas *patch* (retangular ou quadrado) que traz uma redução no valor de SAR desejado.

3.4.4 Diretividade e Ganho

A diretividade e o ganho são pontos extremamente importantes e estão diretamente alinhados a eficiência de uma antena. Eles descrevem a capacidade da antena de direcionar sua energia radiada em uma direção específica. O ganho é uma medida da eficiência da antena em converter potência elétrica em energia radiada.

Os valores da diretividade serão maiores ou iguais a zero e menores ou iguais aos da diretividade máxima (BALANIS, 2016). A partir do entendimento dos parâmetros apresentados, foi realizado um estudo aplicado aos artigos que foram apresentados, apontando quais parâmetros estão presentes em sua análise, o que pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5– Parâmetros presentes nos 20 artigos

Nº	Condutividade	SAR	Diretividade e Ganho	Largura de Banda	S11	Outros
1	Não	Não	Sim	Sim	Não	Eficiência
2	Não	Não	Sim	Não	Não	Frequência
3	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Frequência e Eficiência
4	Não	Não	Sim	Não	Não	Frequência
5	Não	Não	Sim	Sim	Não	Frequência e Substrato
6	Sim	Não	Sim	Não	Não	Frequência
7	Não	Não	Sim	Sim	Não	Frequência e Substrato
8	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Flexibilidade
9	Não	Não	Sim	Sim	Não	Frequência
10	Não	Não	Não	Não	Não	Frequência do Corpo
11	Não	Não	Sim	Sim	Não	Flexibilidade e Permeabilidade
12	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
13	Não	Não	Sim	Sim	Não	Aplicação
14	Não	Não	Sim	Não	Sim	Frequência e Eficiência
15	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Frequência, Eficiência e Flexibilidade

16	Não	Não	Sim	Não	Não	Aplicação e Eficiência
17	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
18	Não	Não	Sim	Não	Não	Eficiência
19	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
20	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não

Fonte: Autor (2022)

3.5 MATERIAIS DE ANTENAS

Um ponto extremamente importante para antenas vestíveis é a escolha do material, não apenas por parâmetros de eficiência elétrica e comunicação, mas também, desconfortos ao usuário, por causa de sua rigidez e outros obstáculos para o uso do ser humano. Porém, uma solução para isso são os materiais (e-têxteis) que possuem as características necessárias para esse fim.

Portanto, esses materiais condutores têm propriedades de condução diferentes dos condutores tradicionais usados em antenas convencionais de projeto (BAL, 2019). Os materiais usados são:

- e) Feltro (Atrash *et al.*, 2020);
- f) Seda e Nylon (DALFIAH, KOUSALIA, 2020);
- g) Couro (MANDAL, PARUI, 2015);
- h) Algodão lavado (SREEMATHY *et al.* 2022.);

Os materiais condutores têm uma facilidade para transmitir elétrons, a chamada alta condutividade elétrica. Exemplos de metais que mais tem presença nas antenas vestíveis, como o cobre e alumínio.

Ao usar esses materiais, os *wearables* antenas irão satisfazer a necessidade de conforto e proteger os usuários da radiação nociva. Além disso, a seleção de material é feita com base nas propriedades mencionadas para garantir um ganho aceitável, alta eficiência e uma adequada largura de banda (ASHYAP, *et al.* 2020).

3.5.1 Metamateriais

Os metamateriais condutores utilizados para antenas vestíveis têm melhores resultados em comparação a antenas sem os metamateriais. A Tabela 10 apresenta

uma comparação de antenas com e sem a presença de metamateriais. Pode ser observado que o valor de SAR em metamateriais é menor que antenas sem esse material. O desempenho também apresenta maior eficiência no ganho. A mesma eficiência também ocorre em antenas vestíveis de banda dupla.

A condutância de um material é medida através da unidade de *Siemens* (S) por *metro* (S/m). A condutância é o inverso da resistência. Segundo Bashir, (2009) esses são os requisitos essenciais para o projeto de antena vestível:

- a) Homogeneidade: Ocorre quando a variação da resistência sobre o material é pequena e homogênea na área da antena;
- b) Alta Condutividade: Esses materiais devem ter uma menor resistividade superficial ($1/Sq$);
- c) Flexibilidade: Devem ser flexíveis o suficiente para que a antena não seja distorcida quando usada em o corpo humano;
- d) Elasticidade: São materiais elásticos sendo a característica da antena não se alteram quando dobradas, esticadas, amassadas ou comprimidas;

Existem fatores de conforto que devem ser levados em conta pelos projetistas de antenas vestíveis, são eles:

- a) Características de radiação Bidirecional, sendo o SAR o principal responsável do aumento, causando perigos ao corpo humano;
- b) Dimensões grandes podem gerar incômodos e desconfortos aos usuários;
- c) Antenas que não são discretas e confortáveis, geram um desafio a anexação ao corpo humano.

Nos artigos de Salonem, (2001; 2004) apresentam um estudo nessa área com o intuito de analisar os metamateriais em antenas vestíveis. A pesquisa foi realizada através de uma fita de cobre e lã para o tecido acoplado ao corpo humano. Diante disso, foi observado que através de metamateriais, conseguiram melhorar sua dimensão, ou seja, diminuí-la em até 30% do seu tamanho original. Além, de melhorar desempenho a partir de parâmetros em 50% ao colocar os metamateriais.

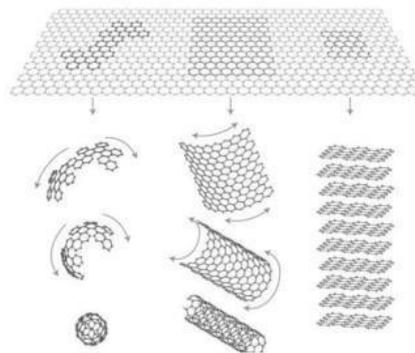
Após, esse estudo, os pesquisadores utilizaram uma antena *Electromagnetic Band Gap* (EBG), com a finalidade de controlar as propriedades eletromagnéticas ao seu redor. Um estudo realizado por Zhu, Langley (2009) demonstrou uma antena coplanar de banda dupla operada em bandas de frequência de 2,45 e 5,8 GHz e foi impresso em feltro substrato têxtil. Após a minuciosa análise, os pesquisadores concluíram uma redução nos valores de SAR, e radiação na direção inversa em mais

de 13 dB, além de aumentar o ganho da antena em cerca de 3 dB.

3.5.2 Antenas de Grafeno

O termo grafeno foi adotado em 1962, esse material consiste de uma monocamada plana de átomos de carbono, organizados em células hexagonais com átomos hibridizados na forma sp^2 , resultando em um elétron livre por átomo de carbono no orbital p e tornando o grafeno um material utilizável em diversas aplicações. (SEGUNDO; VILAR, 2017). Esse material fornece ao grafeno várias propriedades superiores, tais como: alta condutividade elétricas e térmica, grande resistência mecânica e alta flexibilidade e pode ser observado na Figura 14.

Figura 14- Material Grafeno



Fonte: Segundo e Vilar (2017)

Segundo Novoselov *et al.* (2004), estudos demonstraram que o grafeno pode exibir uma condutividade elétrica cerca de 100 vezes maior do que o cobre, que é amplamente utilizado como condutor elétrico. O grafeno é composto por uma única camada de átomos de carbono arranjados em uma estrutura hexagonal. Essa estrutura bidimensional confere ao grafeno uma alta flexibilidade, permitindo que ele seja dobrado, esticado e curvado sem comprometer sua integridade estrutural.

O grafeno tem uma estabilidade térmica e química, em um ambiente inerte, é estável a temperaturas extremamente altas (acima de 1500 °C) e também sob muitas condições onde outros substratos passariam por rápidas reações químicas. Combinadas, estas duas propriedades (impermeabilidade e estabilidade térmica/química) sozinhas tornaria o grafeno um excelente candidato para uma nova camada de proteção. Além disso, o grafeno tem vários benefícios exclusivos (KIRKLAND *et al.* 2012).

Segundo a Petrol Energia (2023), o grafeno não apresenta um valor único. O

preço depende do processo de produção, do tipo de grafeno e das propriedades do material, podendo variar de US\$ 750 a US\$ 2.000 por quilograma.

Uma das aplicações mais notáveis do grafeno está no setor de eletrônicos. Sua condutividade elétrica extremamente alta e sua capacidade de transportar elétrons com velocidades significativas torna o material ideal para componentes eletrônicos de alta performance. Além, de contribuir na parte eletrônica, o grafeno pode contribuir para a área têxtil, fazendo com que suas aplicações também possam ser utilizadas nesse setor. Um exemplo disso, são as antenas vestíveis.

Um estudo realizado por Sousa *et al.* (2022) criou e comparou *Antena Nano Patch de Grafeno (GNPA)* baseado em grafeno com triângulo periódico matrizes de furos no substrato SiO₂ com diferentes alturas. A antena proposta foi projetada para aplicações na banda THz. Os resultados das simulações da GNPA que os pesquisadores conseguiram, foram realizadas em termos dos seguintes parâmetros: largura de banda, S₁₁, padrão de radiação, ganho e diretividade, para as três configurações de alturas de furos no substrato de sílica com potencial químico do *patch* de grafeno (0,1, 0,2 e 0,3 eV).

Os pesquisadores alteraram o parâmetro de espessura da antena, visando comparar os demais parâmetros. Na Tabela 6, é representado a análise parâmetros das antenas com entrada em 0.1eV analisando Frequência de Operação, Largura de Banda e S₁₁. Diante da análise dos pesquisadores, chegou-se a conclusão de que a antena com maior espessura (H3) teve a pior perda de retorno em -31dB. O valor de -31dB indica uma perda significativa de sinal.

Tabela 6 – Antenas H1, H2 e H3 com potencial de 0.1eV

Antena	Frequência de Operação (Thz)	Largura de Banda	S11 (dB) negativo
H1	1,3 – 1,7	0,4	20,7
H2	1,3 – 1,6	0,3	22,2
H3	1,2 – 1,6	0,4	31,5

Fonte: Baseado em Sousa *et al.* (2022).

Quanto maior o valor em dB, maior a perda de retorno. Nesse caso, -31dB indica uma perda considerável, o que significa que apenas uma pequena fração do

sinal original está retornando ou sendo refletida de volta ao ponto de origem.

Como relatado, essa baixa taxa de reflexão é geralmente desejável em muitas aplicações, especialmente em sistemas de comunicação e transmissão de dados, onde a minimização das perdas e reflexões é importante para garantir a qualidade e a eficiência do sinal.

A mesma análise foi realizada com potencial de entrada em 0.2eV. Diante disso, H3 produziu melhores valores de parâmetros de reflexão com um ponto de ressonância posterior às antenas H1 e H2. As quais podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7- Antenas H1, H2 e H3 com potencial de 0.2eV

Antena	Frequência de Operação (Thz)	Largura de Banda	S11 (dB) negativo
H1	1,52 – 1,53 e 2,39 – 2,55	0,2	12,3 e 11,6
H2	1,47 - 1,68 e 2,32 – 2,47	0,2 e 0,1	12,5 e 11,7
H3	1,40 – 1,63 e 2,0 – 2,37	0,2 e 0,07	14,6 e 10,5

Fonte: Baseado em Sousa *et al.* (2022)

Isso significa que o ponto de ressonância ocorre quando uma onda incidente encontra uma interface ou um objeto que possui uma frequência de ressonância específica. Nesse ponto, a onda refletida e a onda transmitida podem interagir de forma construtiva ou destrutiva, resultando em efeitos significativos na amplitude da onda refletida. Além disso, a frequência de operação apresenta dois intervalos em todas as 3 antenas.

A Tabela 8 é mostrado novamente outro teste, contudo houve uma mudança para 0.3eV. A antena H3 novamente apresentou melhores resultados de s11 além de ser a única a apresentar duas faixas de bandas.

Tabela 8- Antenas H1, H2 e H3 com potencial de 0.3eV

Antena	Frequência de Operação (Thz)	Largura de Banda	S11 (dB) negativo
H1	2,47 – 2,64	0,17	13,1
H2	2,39 – 2,55	0,16	13,6
H3	1,49 – 1,60 e 2,35 – 2,48	0,11 e 0,13	10,8 e 12,4

Fonte: Baseado em Sousa *et al.* (2022)

A partir dos resultados, os autores apresentaram comparações entre os testes realizados por eles através de antenas de grafeno e de outros autores sem o grafeno, mas com os mesmos parâmetros. Diante da Tabela 9 a melhor antena, H3, ou seja, com maior espessura e potencial químico de 0,1 eV, obteve maior perda de retorno e maior largura de banda comparada com as referências Bala e Marwaha, (2015); George e Nadhan (2017); e Kazemi e Mokhtari (2017).

Tabela 9- Comparação entre a antena proposta e de outros autores

Referências	Largura de Banda (THz)	S11 (dB) negativos
Bala; Marwaha (2015)	0,12	28,39
George; Nadhan (2017)	0,07	15,2
Kazemi;Mkhtari (2017)	0,04	12,16
Sousa <i>et al.</i> (2022) Antena H 3	0,4	31,5
Sousa <i>et al.</i> (2022) Antena H 1 (Banda Dupla)	0,2	12 e 11,6
Sousa <i>et al.</i> (2022) Antena H 3 (Banda Dupla)	0,11 e 0,03	10,8 e 12,4

Fonte: Baseado em Sousa *et al.* (2022)

As antenas H1 (0.1 eV) e H3 (0,3 eV), ambas banda dupla, obtiveram melhores resultados em relação a largura de banda ao comparar as referências George; Nadhan (2017) e Kazemi; Mokhtari, (2017). E a antena H1 (0,2 eV) obteve melhor largura de banda em relação à referência Bala; Marwaha, (2015).

Em geral a antena H3 com (0,1 eV) e (0,3 eV), obteve melhores resultados em relação aos parâmetros: largura de banda e S11, quando comparada com todas as antenas. As características combinadas tornam o grafeno um material superior em relação aos outros materiais metálicos para aplicações em antenas vestíveis. No entanto, é importante ressaltar que o grafeno ainda está em estágios iniciais de pesquisa e desenvolvimento.

Como última parte do experimento, os autores fizeram um comparativo geral de análise de desempenho entre antenas com metamaterial e sem metamaterial. Com isso, observou que através desse metamaterial o SAR apresentado diminui drasticamente para aplicações no corpo humano e dentro das normas regulamentadoras (vide Tabela 10).

Tabela 10- Análise de desempenho de antena vestível de banda única com e sem metamateriais

Antena sem Metamaterial			Antena com Metamaterial		
Ganho (dBi)	SAR 10g	Frequência GHz	Ganho (dBi)	SAR 10g	Frequência GHz
-7,41	1,52	2,45	4,07	0,007	2,45
6,54	7,95	2,4	7,31	1,79	2,4
6,1	8,16	2,4	7,3	1,77	2,4
1,28	4,51	2,4	6,49	0,4	2,4
2	X	2,4	7,5	x	2,4

Fonte: Baseado em Sousa *et al.* (2022)

Apesar do seu valor altíssimo comparado a outros materiais, o seu potencial é inegável, e a contínua investigação e exploração desse material têm o potencial de transformar diversos setores da indústria e abrir caminho para avanços significativos em tecnologia e aplicações diversas.

3.6 ALIMENTAÇÃO

Há diversas formas de alimentação e análise. São descritos os mais utilizados que são cabo axial, acoplamento por cobertura e linha de Microfita.

3.6.1 Cabo Axial

Neste tipo, o condutor interno do cabo coaxial é conectado à plaqueta irradiadora e o condutor externo é interligado ao plano terra. Possui fácil casamento de impedância e fácil construção, além de apresentar baixa irradiação expúria. Contudo, possui baixa largura de banda e tem modelagem fácil (BALANIS, 2016).

3.6.2 Acoplamento por abertura

Este tipo de alimentação tem modelagem simples, o casamento de impedâncias faz-se através do controle da largura da linha de alimentação e com o comprimento da fenda. No entanto, é considerada o modelo de alimentação com fabricação mais difícil dentre os três e possui banda estrita (BALANIS, 2016), (STUTZMAN; THIELE, 2013.)

3.6.3 Linha de microfita

Este método de alimentação utiliza uma fita condutora, normalmente com largura muito inferior à da plaqueta. A linha de microfita pode ser fabricada facilmente, possui casamento de impedância simples, porém à medida que o substrato aumenta, ondas de superfície e irradiação espúria, geradas pela alimentação aumentam, o que limita a largura de banda (BALANIS, 2016).

3.7 TÉCNICAS DE PRODUÇÃO

As técnicas de produção referem-se ao conjunto de processos e procedimentos utilizados na produção de um produto. Assim, como a escolha dos materiais para antenas vestíveis, o método de produção influencia diretamente no desempenho de antenas vestíveis/têxteis. É vital empregar uma abordagem de fabricação apropriada para dar excelente estabilidade e desempenho. As técnicas mais populares são:

- a) Costura/Bordado;
- b) Jato de tinta;
- c) Serigrafia.

3.7.1 Processo de Costura e Bordado

Nesta última técnica (Figuras 15 e 16) são utilizadas a costura e bordado como base para o processo, ou seja, diferentes dos apresentados anteriormente, nesse processo o fio de material do tecido condutor é bordado ou costurado em um material que não apresenta eletromagnetismo, ou seja, materiais não condutores.

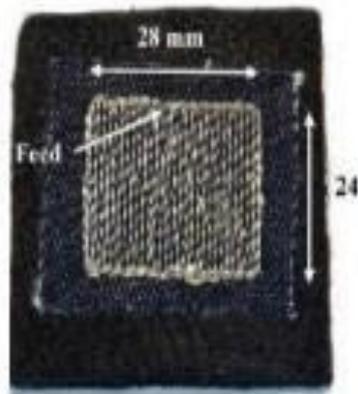
Essa técnica tem grande sucesso pois a antena *wearable* inserida ao tecido gera ao usuário um maior conforto. Contudo, ela apresenta vincos (pequenas arestas) nas roupas e a estética para as antenas é prejudicada.

Figura 15 – Costura de Antena através do Bordado



Fonte: GIL (2019)

Figura 16– Antena *Microstrip* Bordado no Feltro



Fonte: ZHANG (2017)

O recurso utilizado para isso, é o software AutoCAD para máquinas de costura avançadas. A folga da costura, a tensão do fio e o bordado a velocidade deve ser regulada com precisão antes de iniciar o processo de bordado.

Esta técnica é frequentemente utilizada em eletrônica flexível, hoje em dia oferece uma solução melhor do que o convencional devido ao formato bordado, que é mais elástico e flexível do que antenas com seções radiantes compostas de metal (WANG , 2019).

Com os avanços das técnicas de fixação das antenas, surgiu recentemente uma

fabricação conhecida como adesivos. Com o intuito de ligar várias seções de antena, incluindo os substratos, vias, conectores, cabos e elementos radiantes (ALI *et al.*2020), (ZHANG *et al.* 2014). As primeiras etiquetas de *identificação por radiofrequência* (RFID) foram criadas usando esta técnica e foram construídos com fita adesiva de cobre.

3.7.2 Serigrafia

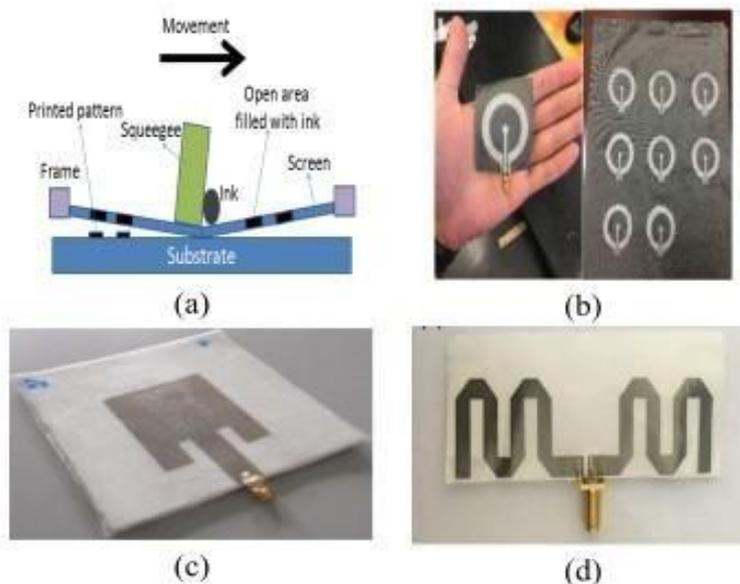
Essa técnica de serigrafia é vista como uma forma fácil e de grande economia de tempo, além de apresentar custo reduzido em comparação aos outros métodos porque a tinta é comprimida por uma tela para anexar ao substrato fixado coma lâmina do limpador sendo acionada para baixo.

Segundo Gamota *et al.* (2013) a liberação da tinta ocorre no tecido, ou no substrato, também conhecido como tela nesse processo. A tela é construída a partir

de uma malha de tecido e recomenda-se o ajuste da parte sem imagem, afim de que seja coberta com emulsão enquanto a parte da imagem é deixada descoberta.

Outra vantagem dessa técnica é que pode ser aplicada em diversos materiais, variando desde poliéster até aço inoxidável. Essa técnica de impressão é semelhante a ideia de uma impressora 3D, onde os filamentos no substrato são levados a altas temperaturas e assim, impressos no formato que se deseja. Contudo ela apresenta uma resolução baixa. Por isso, ela se torna menos utilizada. A Figura 17 representa essa técnica de serigrafia.

Figura 17– Processo de serigrafia (b) Antena serigrafada em substrato (nylon/elastano) (c) Patch para vestir impresso em tela antena (d) Antena têxtil delinha sinuosa.



Fonte: (a) KHALEEL *et al.* (2013), (b) HASNI *et al.* (2021), (c) KAZANI *et al.* (2014), (d) LENG *et al.* (2016)

3.7.3 Impressão a Jato de Tinta

Essa técnica de impressão é mais popular que a apresentada anteriormente, além de apresentar uma construção rápida e de alta confiabilidade o custo também apresenta ótimos valores (KIRTANIA *et al.* 2020), (WANG, 2019).

Essa técnica é através da tinta que sai do bico através de pequenas gotas para a região de aplicação, havendo assim necessidade de ter alta precisão. Por isso, poucos materiais serão utilizados para essa técnica, como: nanopartículas de prata.

3.8 LAVAÇÃO

A lavação é um processo complexo na aplicação em antenas vestíveis por questões eletromagnéticas e curto-circuito. Esses pontos são cruciais para a continuidade do desempenho da antenas após a lavação. As antenas acopladas em tecidos estão sujeitas as condições externas e ciclo prolongado, isso faz com que seja exposto a lavações. Um estudo realizado por Carrara (1997), teve o intuito de validar a lavação de antenas fixadas em tecidos.

Foram utilizados ciclos de enxague automáticos por 50 minutos em uma máquina de lavar. As antenas de tecido (CKA) mostraram ressonância em 5,8 GHz após cinco lavagens abrindo a porta para viabilidade e uso a longo prazo.

As antenas também foram testadas quanto à capacidade de sustentação da lavagem e, em seguida, testadas quanto à perda de retorno. Após 5 lavagens todas as antenas apresentaram perdas de retorno menor ou igual que -10 dB no projeto frequências. Embora apresente resultados promissores em termos de efeitos de usabilidade a longo prazo da camada de interface dielétrica alta, requerem pesquisa significativa e estudos nessa área.

Atualmente têm-se os tecidos e malhas que são lavados a seco. Um exemplo disso, é a marca *Aramis* que lançou recentemente uma Jaqueta Metaheat Verde Escuro (Figura 18) e em seu interior tem um *power bank* 10.000 mAh e possui 3 saídas para poder conectar seus aparelhos de comunicação.

Figura 18 - Jaqueta Metaheat Verde Escuro



Fonte: Aramis (2022)

Um *power bank*, é um dispositivo eletrônico projetado para armazenar energia elétrica (bateria) e fornecê-la posteriormente a dispositivos móveis, como smartphones, tablets, smartwatches, fones de ouvido sem fio e outros dispositivos eletrônicos. A limpeza da jaqueta é a seco profissional com tetracloroetileno e todos os solventes listados com o símbolo F. (ARAMIS, 2022).

4 RESULTADOS

A partir do entendimento de conceitos importantes e análises referentes à criação de uma antena vestível. Estudou-se e obteve o compreendimento das escolhas dos parâmetros dos autores

Atanasova *et al.* (2022) e Wagih *et al.* (2022), da Búlgária e Reino Unido, respectivamente. Foram escolhidos esses artigos dos autores, onde foi levado em consideração uma série de critérios e motivos que foram determinantes para a seleção final. Esses motivos são essenciais para fundamentar e fortalecer a relevância da pesquisa, além de permitir uma abordagem mais completa e abrangente do tema de estudo. Tudo isso, baseando-se nos parâmetros de eletrodinâmica, aplicabilidade da antena e resultados obtidos dos estudos.

O artigo de Atanasova *et al.* (2022) tem mais de dez citações nas bases de dados da *Scopus e Web Science* e reconhecido como uma referência importante no campo de interesse. Além disso, ele foi publicado em uma revista científica conceituada, (*Sensors*) o que aumenta sua credibilidade e confiabilidade. Através desse artigo, tem-se o acesso a uma base sólida de informações e argumentos que sustentam minha pesquisa.

O artigo de Wagih *et al.* (2022), foi escolhido por apresentar uma perspectiva complementar ao anterior. Embora ambos os artigos abordem o mesmo tema, eles trazem enfoques e metodologias distintas. Esse artigo foi publicado na *IEEE Internet of Things Journal* e tem fator de impacto acima de 10, o que o torna muito relevante. Ao incluí-lo na pesquisa, pode-se enriquecer a análise e considerar diferentes pontos de vista, o que aumenta a profundidade e a abrangência da investigação.

O artigo de Atanasova *et al.* (2022) apresentou uma antena de logotipo de banda dupla totalmente têxtil integrada com um refletor para aplicação em dispositivos IoT vestíveis com comunicação *Zigbee*. Essa antena foi testada em diferentes objetos a fim de comparar os parâmetros em cada um, os objetos apresentados são: corpo humano, *notebook* e papel. A Figura 19 representa o protótipo da antena.

Figura 19- Protótipo criado



Fonte: Atanasova *et al.* (2022)

O parâmetro *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) – relação de onda estacionária de tensão. É uma medida que indica o quão bem uma linha de transmissão ou sistema está adaptado à impedância da carga conectada a ele. Se este parâmetro estiver abaixo do valor 2, a correspondência de antena é considerada muito boa e pouco seria ganho por correspondência de impedância, neste caso estava em 2.65 na frequência de 2.4 GHz e 2.25 na 5.4GHz. Os parâmetros analisados a partir do artigo estão na Tabela 11.

Tabela 11- Parâmetros do (Atanasova *et al.*, 2022)

Parâmetros	Check-list
VSWR	Sim
SAR	Sim
Ganho	Sim
S11	Sim
Largura de Banda	Não

Fonte: Autor (2023)

Na área de antenas vestíveis, o substrato é um elemento essencial para o projeto e fabricação dessas antenas. O substrato é o material usado como base ou suporte da antena e desempenha um papel crucial no seu desempenho. É importante realizar simulações e testes práticos para avaliar o desempenho da antena vestível no substrato escolhido, levando em consideração a frequência de operação desejada, a forma da antena e outras características específicas do projeto.

A partir disso, o artigo apresenta 3 substratos têxteis para análise condutividade, as quais podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12- Substratos Presentes

Materiais	Espessura (mm)	Condutividade (S/m)
Poliéster	0,50	1,49
Lã Polar	1,00	1,06
Algodão	5,50	1,58

Fonte: Tabela adaptada de Atanasova G. *et al.* (2022)

Outro fator aprofundado nesse estudo é o valor do SAR em diferentes objetos aplicados, esses valores mudam de acordo com a distância que se está do objeto. Os valores de SAR no plano localizado 35 mm abaixo da antena são 45–50dB mais baixo. O SAR local máximo com média acima de 10 g de massa em uma potência de entrada líquida de 100mW, é igual a 0,5182 W/kg a 2,4 GHz e 0,16379 W/kg a 5,47 GHz. Chegou-se nesses valores por utilizar um no lado oposto do substrato têxtil que permite reduzir a radiação da antena vestível e melhorar a sua robustez contra o efeito de carregamento das proximidades dos objetos (corpo, papel e *notebook*). Na Tabela 13 pode ser observado os valores de SAR em comparação com outros autores.

Tabela 13- Comparação dos Valores de SAR

Parâmetro	Valor	ASHYAP <i>et al.</i> (2020)	ATANASOVA <i>et al.</i> (2022)	GAO <i>et al.</i> (2019)	YANG (2017)
SAR 10g – 2,4GHz	0,51	0,26	1,50	x	x
SAR 10g – 5,8GHz	0,16	X	X	0,41	0,50

Fonte: Tabela adaptada de Atanasova G. *et al.* (2022).

A estrutura de antena proposta é adequada para dispositivos vestíveis IoT que podem ser colocados no corpo humano, alcançou eficiência de radiação entre 25–30% (no espaço livre) e 20–38% (no corpo humano, papel e *laptop*) em a faixa de frequência de 2,4 GHz a 2,5 GHz.

Neste segundo artigo de Wagih *et al.* (2022) é realizado o estudo e análise de uma antena vestível de transmissão de energia de onda milimétrica para compacto e dispositivos IoT vestíveis, com uma comunicação WBAN. É apresentado os parâmetros na Tabela 14 analisados pelos autores.

Tabela 14- Parâmetros do Artigo 2

Parâmetros	Check-list
VSWR	Sim
SAR	Sim
Ganho	Sim
S11	Sim
Largura de Banda	Sim

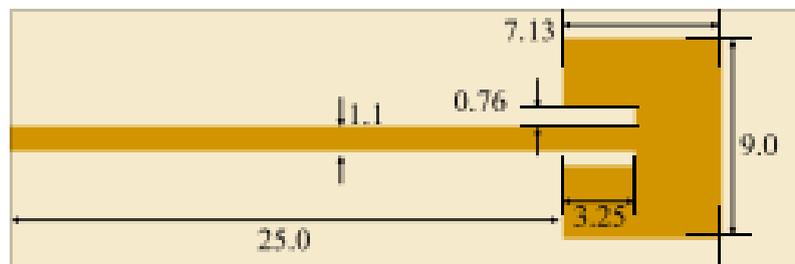
Fonte: Autor (2023).

Nesse quesito de comunicação utiliza-se de alguns parâmetros:

- Antenas de alta eficiência com ampla cobertura angular para aumentar a probabilidade de coleta de energia. (WAGIH *et al.* 2020);
- Perfil de antena adaptável e baixo para melhor integração em roupas e em substratos mais finos (WAGIH *et al.* 2021);
- Largura de banda para permitir que as antenas sejam usadas em todo o espectro 5 G. (WAGIH *et al.* 2020) e (EID *et al.* 2021);

A Figura 20 representa uma antena com protótipo criado pelo autor e a Tabela 15 representada por parâmetros analisados em comparação a outros autores.

Figura 20- Desenho da antena



Fonte: WAGIH *et al.* (2022).

Tabela 15- Comparação entre Autores

Artigo	Antena	Largura de Banda (dBi)	Ganho
Wagih <i>et al.</i> (2022)	Patch	24,9 – 31,1	7,7 em 24 GHz e 8,9 em 26 GHz
Chahat <i>et al.</i> (2013)	End-fire quasi-Yasi	57 – 65	11,9
Chahat <i>et al.</i> (2012)	Patch	56 -65	9

Fonte: Baseado em WAGIH *et al.* (2020)

A partir do estudo aplicado, chegou-se a conclusão de que as propriedades de radiação medidas da antena mostram uma eficiência de radiação superior a 50%, mantendo um baixo perfil, comparando favoravelmente com têxteis recentes e flexíveis de antenas mmWave.

Os dois artigos selecionados para a análise abordam o tema de antenas vestíveis. Cada artigo explora diferentes parâmetros relacionados a essas antenas, proporcionando uma visão abrangente do assunto.

No primeiro artigo, os autores concentram-se principalmente na eficiência da antena vestível. Eles avaliam como o projeto e o posicionamento da antena com diferentes materiais de substrato afetam a eficiência de radiação e recepção do sinal. Além disso, são discutidos os valores de SAR com o corpo humano, *notebook* e papel. A pesquisa apresenta resultados quantitativos e qualitativos que demonstram o impacto desses parâmetros na eficiência das antenas.

Já o segundo artigo foca em comunicação WBAN e os parâmetros necessários. Os pesquisadores exploram diferentes tipos de antenas com os parâmetros de eletrodinâmica apresentados na seção 3 a comparação com outros autores. Os autores também discutem o impacto desses fatores na performance das antenas e como eles influenciam a usabilidade e o conforto do usuário.

Ambos os artigos destacam a importância de considerar esses parâmetros ao projetar antenas vestíveis eficientes e funcionais. Em suma, esses dois artigos analisam diferentes parâmetros relacionados a antenas vestíveis, fornecendo uma visão abrangente sobre o tema. Considerar esses parâmetros é fundamental para o desenvolvimento de antenas vestíveis que sejam eficientes, funcionais e confortáveis para os usuários.

5 CONCLUSÃO

Este presente trabalho apresentou uma análise dos parâmetros e materiais utilizados em antenas vestíveis, um importante ramo dos *wearables*. A partir da crescente era tecnológica, as antenas se tornam importantes pontos a serem analisados para a conexão sem fio de IoT e *wearables*. Com isso, no decorrer deste trabalho, foram analisados parâmetros a serem vistos na criação e eficiência de uma antena vestível, dentre eles:

- a) Formato da Antena;
- b) Meios de Comunicação;
- c) Alimentação;
- d) Eletrodinâmica;
- e) Material;
- f) Técnicas de Processo.

Um estudo de casos de 2 artigos científicos do ano de 2022 (Atanasova *et al.* e Wagih *et al.*), concluí-se que foram utilizados materiais e ferramentas eficazes para antenas vestíveis em suas devidas aplicações e requerimentos. O artigo de Atanasova *et al.* (2022) apresentou uma antena de logotipo de banda dupla totalmente têxtil integrada com um refletor para aplicação em dispositivos IoT vestíveis com comunicação *Zigbee*. Analisou-se os parâmetros apresentados, e não foi analisado a largura de banda em sua pesquisa.

No artigo de Wagih *et al.* (2022) analisado cria-se uma antena com uma comunicação de maior desempenho que o artigo anterior, porém com uma requisição necessária de parâmetros para aplicação de WBAN. Alisou-se todos os parâmetros da eletrodinâmica, porém dando ênfase na comunicação.

Com isso, essa pesquisa contribuiu para o avanço tecnológico na área de antenas vestíveis, desta forma, um guia sobre o que deve ser considerado para o modelo e construção de antenas vestíveis. Os materiais discutidos e parâmetros servem como referência para evolução dessa tecnologia no ramo têxtil e nas diversas aplicações da era tecnológica.

Neste quesito, as antenas vestíveis e a indústria 4.0 estão intrinsecamente relacionadas, ea adoção dessa tecnologia oferece várias vantagens significativas para os usuários que buscam migrar para essa nova era da fabricação inteligente.

Uma das principais vantagens da utilização de antenas vestíveis na indústria 4.0

é a mobilidade e a flexibilidade que elas proporcionam. Com as antenas integradas em roupas ou acessórios, os usuários têm a capacidade de se movimentar livremente. Isso promove a eficiência e a agilidade nas operações, facilitando a comunicação e o compartilhamento de informações em tempo real.

Diante disso, com a análise de diversos artigos, pôde-se perceber que cada projeto e desenvolvimento de uma antena varia seu modo de aplicação, formato, eletrodinâmica, entre outros fatores. Não havendo assim a melhor antena, mas com a apresentação da pesquisa e estudos de caso, recomenda-se os parâmetros apresentados, a fim de se ter um bom desempenho e custo adequado para a comercialização em *wearables*. Nesse trabalho apresentou limitabilidade, onde não foi possível a simulação ou construção de uma antena vestível devido ao tempo e recursos disponíveis.

Para futuros trabalhos serão desenvolvidos protótipos *wearables* de diferentes configurações de antenas vestíveis, na qual possam servir de *benchmarking* e melhoria do conforto do usuário, além de contribuir com inovações que aumentarão a competitividade da indústria brasileira.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL. Design and Simulation of *Microstrip* Patch Antenna for WLAN Applications. **International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology**, 2017.
- ALI Usman; ULLAH Sadiq; SHAFI Muhammad; SHAH Syed; SHAH Izaz; FLIT James
Design and comparative analysis of conventional and metamaterial-based textile antennas for *wearable* applications, **Int. J. Numer. Model., Electron. Netw., Devices Fields**, 2019.
- ALI Usman; ULLAH Sadiq; KHAN Jalal; SHAFI Muhamad. Design and SAR analysis of *wearable* antenna on various parts of human body, using conventional and artificial ground planes. **J. Elect. Eng. Technol.**, vol. 12, 2017.
- ALSARAIRA Amer; SARAEREH Omar; ALI Ashraf; ALABED Samaer. Design of LoRaAntenna for *Wearable* Medical Applications, 2016.
- ANATEL, estudo sobre avaliação do SAR - taxa de absorção específica em aparelhos homologados pela anatel. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/estudo-sobre-avaliacao-do-sar-taxa-de-absorcao-especifica-em-aparelhos-homologados-pela-anatel>.
Acesso em 10 de junho de 2023.
- ARAMIS, Jaqueta verde escuro. Disponível em: <https://www.aramis.com.br/jaqueta-nylon-liq-repeller-heating-pa-verde-escuro-jq-06-0060-184/p>. Acesso em 10 de junho de 2023.
- ARAUJO, Eduardo. Redes 802.15.4. Trabalho destinado à disciplina de Redes II da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFSRJ, 2017.
- ASHYAP Adel; DAHLAN Samsul; ABIDIN Zuhairiah; ABBASI Muhammad; KAMARUDIN Muhammad; MAJID Huda; DAHRI Muhammad; JAMALUDDIN Haizal; ALOMAINY Akram. An overview of electromagnetic band-gap integrated *wearable* antenna. **IEEE Access**, vol. 8, pp. 7641–7658, 2020.
- ATANASOVA Gabriela; ATANASOV Blagovest; ATANASOV Nikolay. Fully Textile Dual- Band Logo Antenna for IoT *Wearable* Devices. **Sensors**, [S.L.], v. 22, n. 12, p. 4516, 15 jun. 2022.
- ATRASH Mohamed; ABDALGALIL Omar; MAHMOUD Ibrahim; ABDALLA Mahmoud; ZAHRAN Sherif. *Wearable* high gain low SAR antenna loaded with backed all-textile EBG for WBAN applications, **IET Microw., Antennas Propag** 2020.
- BALA Rajni; MARWAHA Anupma. Analysis of graphene based triangular nano patch

antenna using photonic crystal as substrate for wireless applications. **2nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS). IEEE**, 2015.

BALANIS Constantine. Antenna theory: analysis and design. **John Wiley & Sons**, 2016.

BAO Ling; INTILLE Stephen. Examining the efficacy of wireless technologies for *wearable* devices and mobile communication. **Journal of Mobile Computing & Communications**, 7(2), 128-142, 2018.

BASHIR Shahid. Design and synthesis of non-uniform high impedance surface based *wearable* antennas, Ph.D. dissertation, **Dept. Elect. Eng., Loughborough Univ., Loughborough, U.K.**, 2009.

BEVELACQUA, Peter. Antenna Array: Performance limits and geometry optimization. A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy, 2008.

BOZINOVIC Nenand; YUE Yang; REN Yongxiong; TUR Moshe; KRISTENSEN Poul; HUANG Hao; WILLNER Alan; RAMACHANDRAN Siddharth. Terabit scale orbital angular momentum mode division multiplexing in fibers. **Science**, 2003

CARDOSO Ermel. Literature Reviews. Cham: **Springer International Publishing**, 2021.

CARRARA, Nello. Dielectric Properties of Body Tissues, **Institute for Applied Physics**, Florence, Italy, 1997.

CHAHAT Nacer; ZHADOBOV Maxim; COP Laurent, SAULEAU Ronan. *Wearable* end fire textile antenna for on-body communications at 60 GHz, **IEEE Antennas Wireless Propag. Letter.**, vol. 11, pp. 799-802, 2012.

CHAHAT Nacer; ZHADOBOV Maxim; MUHAMMAD Shoaib; COP Laurent; SAULEAU Ronan. 60-GHz textile antenna array for body-centric communications, **IEEE Trans. Antennas Propag.**, 2013.

CHAOUCHE Youcef; NEDIL Mourad; MABROUK Ismail; RAMAHI Omar. A *wearable* Circularly Polarized Antenna Backed by AMC Reflector for WBAN Communication. **IEEE Access**, 2022.

CISCO. *Wireless*. O que é *Wi-Fi*. Disponível em: https://www.cisco.com/c/pt_br/products/wireless/what-is-wifi.html. Acesso em: 20 de julho de 2023.

DALFIAH M; KOUSALIA T. Design of *wearable* textile antenna for biomedical WBAN application using ISM band, **Easy Chair**, 2021.

DELOITTE. Ecosistema 5G no Brasil. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-brasil-relat%C3%B3rio-ecossistema-5G-brasil.pdf>.

Acesso em: 20 de julho de 2023.

DONATI Luisa. Computadores vestíveis: convivência de diferentes especialidades The in mobility Project View project. **Conexão-Comunicação e Cultura** (Vol. 3). Caxias do Sul, 2004.

EID Aline; HESTER Jimmy; TENTZERIS Manos. 5G as a wireless power grid, **Sci. Rep.**, vol.11, pp. 636, Apr. 2021.

ELSYS. Como funciona o *WI-FI*. Disponível em: <https://elsys.com/blog/como-funciona-o-wifi>. Acesso em: 01/07/2023.

EMBARCADOS. Tecnologias de comunicação sem fio. Disponível em: <https://embarcados.com.br/tecnologias-de-comunicacao-sem-fio/>. Acesso em: 01/07/2023.

EQUALS. Indústria 5.0. Disponível em: https://equals.com.br/blog/industria-5-0/?gad=1&gclid=CjwKCAjwtuOIBhBREiwA7agf1jdkxbWNmuOnVjsBX1XQsL1Ny8xA_svLgoAmWT7L4BR7WVfyf03-xoCES8QAvD_BwE. Acesso em: 20 de julho de 2023.

ERGEN Sinem. *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*, 2004.

ERICSSON. Mobility Report November 2022. Acesso em: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/november-2022>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

FAROOQ Umar; RATHER Ghulam. A miniaturised Ka/V dual band millimeter wave antenna for 5G body centric network applications, **Alexandria Engineering Journal**, 2022.

FEBRABANTECH. Venda de *wearables* deve retomar crescimento em 2023. Disponível em: <https://febrabantech.febraban.org.br/blog/venda-de-wearables-deve-retomar-crescimento-em-2023>. Acesso em: 01/07/2023.

GAMOTA Daniel; BRAZIL Paul; KALYANASUNDARAM Krishna; ZHANG Jie. Printed Organic and Molecular Electronics. New York, NY, USA: **Springer**, 2013.

GAO Guo; YU Zhuo; DONG Jing; HU Bin. A wideband Metasurface Antenna with Dual-Band Dual-Mode for Body-Centric Communication. **IEEE Transactions on Antenna and Propagation**, 2022.

GAO Guo; YU Zhuo; DONG Jing; HU Bin. Dual-Mode Patch Antenna With Capacitive Coupling Structure for on-off Body Applications, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2022.

GAO Guo; YU Zhuo; DONG Jing; HU Bin. *Wearable* planar inverted antenna with stable characteristics and low specific absorption rate. **Microw. Opt. Technol. Lett.**, vol. 60, no. 4, pp. 876–882, 2018.

GEORGE Jemima; MADHAN M. Analysis of single band and dual band graphene-

based patch antenna for terahertz region. **Phys. E: Low-dimensional System. Nanostruct** 94, 126–131 2017.

GIL Ignacio; GARCÍA Raul; TORNERO José. Embroidery manufacturing techniques for textile dipole antenna applied to wireless body area network, **Textile Res. J.**, vol. 89, no. 8, pp. 1573–1581, 2019.

GODONELI Kardican; BENGI Uzay; KATI Omer; DUMANLI Sena. A *wearable* Dual-Mode Repeater Antenna for implant Communication, **IEEE Access**, 2022.

GSA. 5G alcança quase 180 redes em mais de 70 países. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/mercado/noticias/n178667/5g-conta-com-quase-180-redes-em-mais-de-70-paises.html>. Acesso em: 01/07/2023.

HALL Peter; HAO Yang. Antenna and Propagation for Body-Centric Wireless. **Norwood: Artech House**, 2012.

HASNI Umar; PIPER Mckenzie; LUNDQUIST Jonathan. Screen-printed fabric antennas for *wearable* applications, **IEEE Open J. Antennas Propag** vol. 2, pp. 591–598, 2021.

INFOMONEY. 5G deve movimentar 255 bilhões de dólares no Brasil. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/minhas-financas/5g-deve-movimentar-us-255-bilhoes-no-brasil-ate-2025-projeta-idc/>. Acesso em: 01/07/2023.

INTEL. Largura de banda vs throughput vs velocidade vs taxa de conexão. Disponível em: <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/support/articles/000026190/wireless.html>. Acesso em: 01/07/2023.

JJESH J; SHIVASHANKAR A. A survey on Wireless Body Sensor Network routing protocol classification. **In Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems & Control**, Coimbatore, India, 5–6, pp. 489–494, 2017.

KAREEM Farah; ATRASH Mohamed; IBRAHIM Ahmed; ABDALLA Mahmoud. All-textile inspired-folded dipole antennas for on/off-Body communications medical applications, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2022.

KAUR Harvinder; CHAWALA Paras. Performance Analysis of Novel *Wearable* Textile Antenna Design for Medical and Wireless Applications, **Wireless Personal Communications**, 2022.

KAZANI I; DECLERQ F; SCARPELLO M; HERTLEER C; ROGIER H; VANDE D, MEY G; GUXHO G; LANGENHOVE L. Performance study of screen-printed textile antennas after repeated washing, **Autex Res. J.**, vol. 14, no. 2, pp. 47–54, 2014.

KAZEMI Amir; MOKHTARI Arash. Graphene-based patch antenna tunable in the three atmospheric windows. **Optik-International J. Light Electron Opt.** v. 142, 475–482, 2017.

- KHALEEL Haider; RIXXO Hussain; RUCKER Daniel; Design, fabrication, and testing of flexible antennas, in *Advancement in Microstrip Antennas with Recent Applications*. London, U.K.: **IntechOpen**, pp. 363–383, 2013.
- KIM, S. *et al.* A study on the electromagnetic characteristics of a graphene-based *loop* antenna. **Applied Sciences**, 7(11), 1151, 2017.
- KIRKLAND N; BIRBILIS N; SAIGER M. Exploring graphene as a corrosion protection barrier. **Corrosion Science**, vol.56, p.1-4, 2012.
- KIRTANIA Sharadindu; ELGER Alan; HASAN Md; WISNIEWSKA Anna; SEKHAR Karthik; KARACOLAK Tutku; SEKHAR Praveen. Flexible antennas: A review, **Micromachines**, vol. 11, no. 9, p. 847, 2020.
- KHAN Umhara; SHEIKH Javaid; JUNAID Aqib; AMIN Rehana. Design of a Compact Hybrid Moore’s Fractal Inspired *Wearable* Antenna for IoT Enable Bio-Telemetry in Diagnostic Health Monitoring System, **IEEE Access**, 2022.
- LE Tu; KIM Yong; YUN Tae. *Wearable* Pattern- Diversity Dual-Polarized Button Antenna for *Wearable* on/off Body Communications, **IEEE Access**, 2022.
- LEE Bernhard, J. Helical antennas. In *Antenna engineering handbook* (pp. 55-1 - 55-28). **McGraw-Hill**, 2008.
- LENG Ting; HUANG Xianjun; CHANG KuoHsin; CHEN Jiacing. Graphene nanoflakes printed flexible meander-line dipole antenna on paper substrate for low-cost RFID and sensing applications, **IEEE Antennas Wireless Propag. Lett**, vol. 15, pp. 1565–1568, 2016.
- LI Haiyan; DU Jinxin; GAO S. Low-Profile All-Textile Multiband *Microstrip* Circular Patch Antenna for WBAN Application, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2022.
- LIAO Wangium. Multi-objective optimization design of *microstrip* patch antenna for wideband and high-efficiency. **Journal of Computational Electronics**, 18(1), 103-115, 2019.
- LIU Yulong; XU Lulu; YE Terry. Textile-based embroidery-friendly RFID antenna design techniques, in Proc. **IEEE Int. Conf. RFID** (RFID), pp. 1–6, 2019.
- LOW Jen; CHEE Pei; LIM Eng *et al.* Liquid EBG-Backed Stretchable Slot Antenna for Human Body, **IEEE Transactions on Antenna and Propagation**, 2022.
- MAHFUZ M; ISALM Md; PARK Chan; SULIMAN F; MALEK Norun; SAKIB Nazmus. *Wearable* Textile Patch Antenna: Challenges and Future Directions, **IEEE Access**, 2022.

MALAR Ka; GANESH R. Novel aperture coupled fractal antenna for Internet of *wearable* things (IoWT), Measurement: **Sensors**, 2022.

MANDAL Bappaditya; PARUI S. A miniaturized *wearable* button antenna for *Wi-Fi* and *Wi- Max* application using transparent acrylic sheet as substrate, **Microwave and Optical Tecnology Letters**, 2014.

MARONGIU Elena; PAVONE Santi; LODI Matteo; MELIS Andrea; MAZZARELLA Giusepe. Design and Characterization of Modifield Comb Patch Antennas, **IEEE Access**, 2022.

MERCADO *WEARABLES*. Disponível em: <https://inforchannel.com.br/2022/11/28/mercado-global-de-wearable-sera-de-us-186-bi-ate-2030/>. Acesso em: 01/07/2023.

MINISTÉRIO DE COMUNICAÇÕES. Disponível em: [https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=97061#:~:text=Aprova%20o%20Regulam ento%20 para%20Certifica%C3%A7%C3%A3o,de%2022%2F04%2F2020\)%3A.](https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=97061#:~:text=Aprova%20o%20Regulam ento%20 para%20Certifica%C3%A7%C3%A3o,de%2022%2F04%2F2020)%3A.) Aces so em: 02/07/2023.

MOKHTARI Fatemeh; CHENG Zhenxiang; RAAD Raad; XI Jingtao; FAROUGHI Javad. Piezofibers to smart textiles: a review on recent advances and future outlook for *wearable* technology. **Journal of Material Chemistry**, 2020.

MUSA Uma; MAJID Huda; YAHYA Muhammad; BABANI Suleiman. Recent Advanced of *Wearable* Reconfiguratin Antenna Technologies: A review, **IEEE Access**, 2022.

NIDHYA R; ARUNACHALAN V. Study on Requirements, Challenges and Applications of Wireless Body Area Network. **Asian J. Electron. Science**. 30–36, 2017.

NOVOSELOV K; GEIM K; MOROZOV; JIANG D; ZHANG Y; DUBONOS S; FIRSOV A. Electric field effect in atomically thin carbon films. **Science**, 2004

OLIVEIRA Manuelle. Superfície Seletiva de Frequência Reconfigurável (RFSS) baseada em Dipolo Cruzado, **Universidade Federal de Pernambuco**, 2016.

O’NASCIMENTO Ricardo. Roupas Inteligentes: combinando moda e tecnologia. São Paulo, Brasil: **Senac São Paulo**, 2020.

PETROL. Cientistas e indústrias unem forças para criar aplicações com grafeno. Disponível em: <https://www.petroleoenergia.com.br/grafeno-cientistas-e-industriais-unem-forcas-para-criar-aplicacoes/#:~:text=Material>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

POZAR David. Microwave engineering. **John Wiley & Sons**, 2011.

QU Yating; ZHENG Guoqiang; MA Huahing; WANG Xintong. Survey of Routing Protocols in WBAN for Healthcare Applications. **Sensors**, 2019.

RAPPAPORT Theodore. Wireless communications: principles and practice. **Prentice Hall**, 2002.

REN Y. Orbital Angular Momentum for Wireless Communication. **IEEE Wireless Communications**, 21(4), 130-137, 2014.

SALONEM P; KESKILAMMI M; SYDANHEIMO L. A low-cost 2.45 GHz photonic band-gap patch antenna for *wearable* systems, in **Proc. 11th Int. Conf. Antennas Propag.** (ICAP), pp. 719-723, 2001.

SALONEM P; YANG Fan; KIKOVSKI M. WEBGA— *Wearable* electromagnetic band-gap antenna, in Proc. **IEEE Antennas Propag. Soc. Symp.**, vol. 1, Jun., pp. 451–454, 2004.

SEGUNDO José; VILAR Eusébio. Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, 2017.

SHAKI Sadi; KUMPIKAITE Eglé. Advances in the Robustness of *Wearable* Electronic Textiles Strategies, Stability, Washability and Perspective. **Nanomaterials**, 12(12), 2022.

SHEREEN M; NEBHEN Jamel; KHATTAK M. A review of achieving frequency reconfiguration through switching in *microstrip* patch antennas for future 5G applications, **Alexandria Engineering Journal**, 2022.

SMITH, A; JOHNSON B. Design of Helical Antennas for Handheld Radio Terminals. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, (2005)

SOUSA Fiterlinge. Graphene Based Nano Patch Antenna using Photonic Band Gap Insertion into Substrate for Applications at THz Band, **UFPA**, 2022.

SREEMATHY R; HAKE Shahadev; GAIKWAD Snadeep; BEHERA Sumit. Design, analysis and fabrication of dual frequency distinct bandwidth slot loaded wash cotton flexible textile antenna for ISM band applications. **Prog. Electromagn. Res. M**, 2022.

STUTZMAN Warren. THIELE Garry. Antenna theory and design. 3. Ed. **John Wiley & Sons**, 2013.

THINGS. Porque o *Zigbee* ainda é um protocolo dominante na automação industrial. Disponível em: <https://thingsbr.com.br/por-que-o-zigbee-ainda-e-o-protocolo->

dominante-para-automacao-residencial-e-industrial/. Acesso em: 01/07/2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). *Bluetooth*. Diposnível em: https://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/bluetooth/definicao.html. Acesso em: 20 de julho de 2023.

ULLAH Ubaid; KOZIEL Slawomir; DABROWSKA Anna. Design and Characterization of a Planer Structure Wideband Milimeter-Wave Antenna With Wide Beam width for *Wearable Off-Body Communications*, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2022.

WAGIH Mahmoud; HILTON Geoffrey; WEDDELL Alex; BEEBY Steve. Millimeter-Wave Power Transmission for Compact and Large-Area *Wearable IoT Devices Based on a Higher Order Mode Wearable Antenna*, **IEEE Internet of Things Journal**, 2022.

WANG Mengjun; YANG Ze; WU Jianfei; BAO Jianhui. Investigation of SAR reduction using flexible antenna with metamaterial structure in wireless body area network, **IEEE Trans. Antennas Propag.**, vol. 66, no. 6, pp. 3076–3086, 2018.

WANG Yan; YAN Chuan; CHENG SI; XU ZHAO. Flexible RFID tag metal antenna on paper-based substrate by inkjet printing technology, **Adv. Funct. Mater.**, 2019.

YANG S *et. al.* Design and Analysis of Dual-Polarized Dipole Antennas with Asymmetric Feeding, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol. 57, no. 6, pp. 1849-1853, 2009.

ZAIDI Norsyahirah; Rahman Nurul; YAHYA Mohamad; NORDIN Muhammad; SUBAHIR Suhaila; YAMADA Yoshihide. Analyzing on Bending Performance of the Electro-Textile Antennas with Bandwith, **Alexandria Engineering Journal**, 2022.

ZHANG, K. A *wearable loop-dipole* combined antennna. **Departament of electronic and Eletrical Enginering, University of college london**, 2016.

ZHANG, S. Non-uniform mesh for embroidered *microstrip* antennas, **IET Microw, Antennas Propag.**, vol. 11, no. 8, pp. 1086–1091, 2017.

ZHANG, S. Textile manufacturing techniques in RF devices, in Proc. **Loughborough Antennas Propag. Conf. (LAPC)**, pp. 182–186, 2014.

ZHENG L; TSE, D. Diversity and multiplexing: A fundamental tradeoff in multiple-antenna channels. **IEEE Transactions on Information Theory**, 49(5), 1073-1096, 2023.

ZHU S; LANGLEY R. Dual-band *wearable* textile antenna on an EBG substrate, **IEEE Trans. Antennas Propag.**, vol. 57, no. 4, pp. 926–935, 2009.