

# Impactos nos parâmetros de uma antena de microfita flexível e têxtil quando submetida a diferentes curvaturas em sua estrutura

João Vitor Macedo de Oliveira Silva  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Centro de Ciências Exatas e Naturais  
Mossoró, Brasil  
[joao.silva01481@alunos.ufersa.edu.br](mailto:joao.silva01481@alunos.ufersa.edu.br)

Samanta Mesquita de Holanda  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
[samanta.holanda@ufersa.edu.br](mailto:samanta.holanda@ufersa.edu.br)

Humberto Dionísio de Andrade  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
[humbertodionisio@ufersa.edu.br](mailto:humbertodionisio@ufersa.edu.br)

Isaac Barros Tavares da Silva  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
[isaac.barros@ufersa.edu.br](mailto:isaac.barros@ufersa.edu.br)

Idalmir de Souza Queiroz Júnior  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
[idalmir@ufersa.edu.br](mailto:idalmir@ufersa.edu.br)

Leonardo Oliveira de Souza  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
[leonardo.souza14353@alunos.ufersa.edu.br](mailto:leonardo.souza14353@alunos.ufersa.edu.br)

**Resumo**—Neste trabalho foi utilizada uma antena de microfita flexível, onde seu substrato é composto de materiais biodegradáveis e têxteis e elaborada para aplicações na tecnologias 5G. O principal foco desta pesquisa foi analisar o comportamento desse dispositivo e dos seus parâmetros quando submetida a curvaturas em sua estrutura, logo que, seu aspecto flexível permite tal alteração. (*Abstract*)

**Palavras-Chave**—Antenas têxteis, tecnologia 5G, antenas curvas, Coeficiente de Reflexão, Diagrama de Radiação

## I. INTRODUÇÃO

Quando o assunto de uso de dispositivos em contato com a pele humana é ressaltada, diversos fatores precisam ser estudados para que possa ser realizada tal aplicação. Um desses fatores é o incômodo que o dispositivo pode causar à pessoa devido estar em contato direto com o corpo humano. Na área das antenas de microfitas, a inovação que foi feita para amenizar esse problema é a substituição dos materiais de estrutura rígida por materiais têxteis flexíveis, que podem serem usados como tecidos vestíveis [1]. As chamadas antenas têxteis podem ser integradas as vestimentas do usuário, e por essa razão torna-se necessário realizar um estudo sobre o que acontecerá com o dispositivo e seus parâmetros devido a proximidade com o corpo e a curvatura gerada em virtude da adaptação a superfície em que estão [2][3].

A finalidade desta pesquisa é submeter uma antena de microfita têxtil e flexível, com seu substrato feito de material natural e sintético, a diferentes curvaturas em diferentes direções, para que possa ser analisado qual a influência de tais ações nos seus parâmetros de frequência de ressonância, coeficiente de reflexão, largura de banda e ganho máximo.

## II. METODOLOGIA

### A. Materiais

Esta pesquisa foi realizada utilizando como base uma antena de microfita flexível, onde seu *patch*, plano de terra e linha de transmissão, são feitos de folha de cobre flexível e o

substrato feito de materiais têxteis biodegradáveis, sendo eles: o algodão (CO), que compõe 67% do substrato e um material sintético, o poliéster (PES), que compõe 33% dessa camada.

Esses materiais foram escolhidos em virtude da disponibilidade no comércio local e por questões ambientais. Devido ao uso dos materiais de algodão (CO) e poliéster (PES) em um mesmo substrato, a antena estudada foi denotada de “Antena CO&PES”. Essa antena foi baseada na tese de doutorado de Holanda [4], onde no trabalho é abordado melhor sobre seu projeto e construção. A geometria da antena estudada é ilustrada na Fig. 1 e suas dimensões projetadas são dispostas na Tabela I.

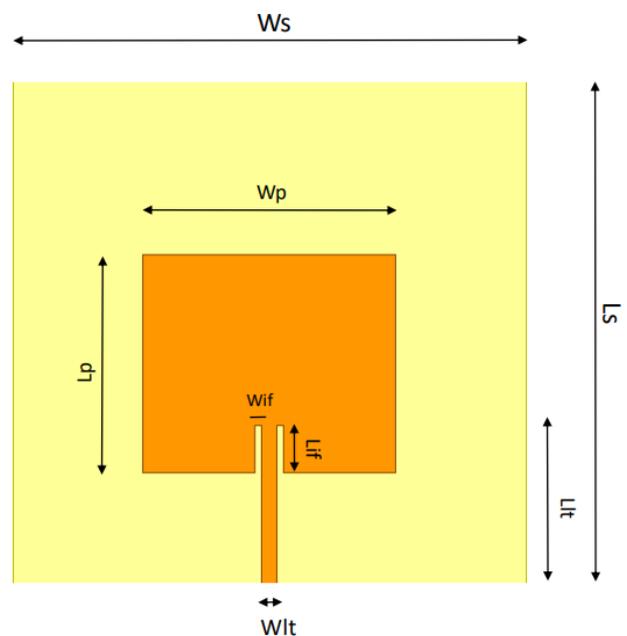


Fig. 1. Geometria da antena de microfita flexível. Fonte: Adaptado de [3]

TABELA I. DIMENSÕES EM MILÍMETROS (MM) DAS ANTENAS DE MICROFITA FLEXÍVEIS.

Variável	Dimensões (mm)
LS	80,00
WS	80,00
LP	34,84
WP	39,29
Lt	25,17
Wt	2,50
Lif	7,60
Wif	1,00
h (espessura)	1,12

Fonte: Adaptado de [3].

A antena foi projetada para operar na frequência de 3,5 GHz, que está dentro da faixa utilizada tecnologia 5G. Também foram criados dois cilindros no software, um de 100 mm e outro de 75 mm de diâmetro (tendo como referencial o diâmetro médio de um braço humano), para que as antenas fossem curvadas sobre e sob eles.

### B. Simulações

Para as simulações desta pesquisa foi utilizado o software da ANSYS, o HFSS versão 19.0.

Foram realizadas simulações em 3 etapas diferentes, onde foram denotadas de “primeira etapa”, “segunda etapa” e “Terceira etapa”, para que seja facilitada a leitura. A primeira etapa consistia em curvar a antena sob um sólido de 100 mm de diâmetro e após isso, curvar da mesma maneira em um mesmo sólido, mas agora de 75 mm de diâmetro, assim como demonstra na Fig. 2. Na segunda etapa, utilizou-se os mesmos dois cilindros, porém curvando o dispositivo sob o material no sentido do comprimento da dimensão W, como é ilustrado na Fig. 3. Na terceira etapa, novamente a antena era curvada sobre os mesmos dois sólidos, entretanto, no sentido do comprimento L, como é mostrado na Fig. 4.

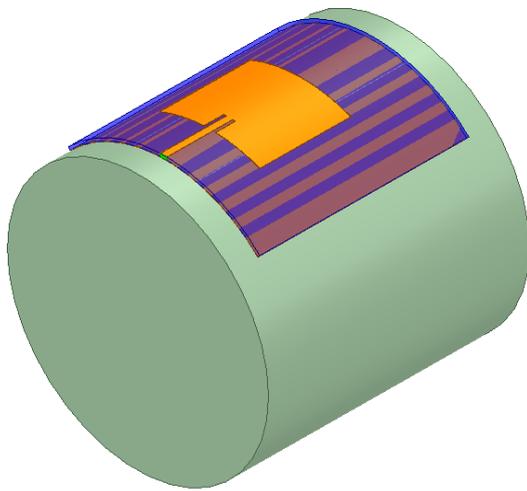


Fig. 2. Antena de microfita flexível curvada sobre sólido cilíndrico no sentido do comprimento W.

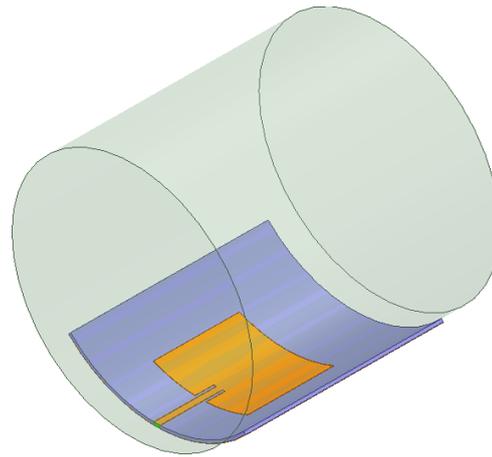


Fig. 3. Antena de microfita flexível curvada sob sólido cilíndrico no sentido do comprimento W.

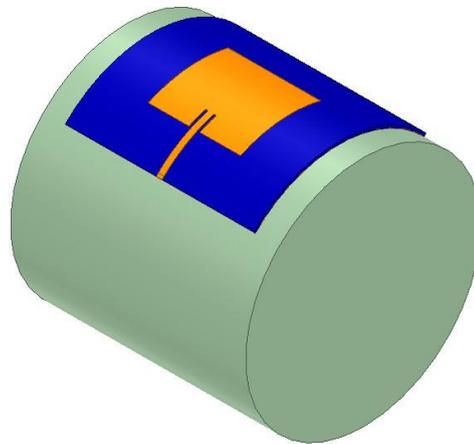


Fig. 4. Antena de microfita flexível curvada sobre sólido cilíndrico no sentido do comprimento L.

Vale ressaltar que os cilindros foram utilizados apenas como referencial para a curvatura dos dispositivos, sendo excluídos antes das simulações, para que não afetasse os parâmetros das antenas trabalhadas.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado no objetivo deste trabalho, os parâmetros que foram analisados são o de frequência de ressonância, coeficiente de radiação, largura de banda e ganho máximo da antena usada.

### A. Frequência de Ressonância, Coeficiente de Reflexão e Largura de Banda

Os gráficos foram divididos em três, onde em todos contém a “Antena CO&PES” no seu estado plano, mas com o sentido da curvatura do dispositivo diferente em cada um, como ilustram as Fig. 5, 6 e 7. Também foram elaboradas tabelas, onde nelas estão presentes os parâmetros supracitado com o adicional do parâmetro Largura de banda (BW) para uma melhor análise dos dados simulados.

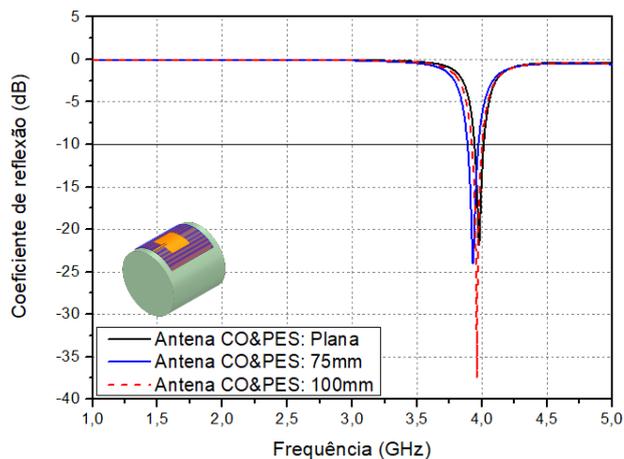


Fig. 5. Coeficiente de reflexão para antena de microfita flexível curvada sobre sólido cilíndrico no sentido do comprimento W.

TABELA II. DIMENSÕES EM MILÍMETROS (MM) DAS ANTENAS DE MICROFITA FLEXÍVEIS.

Estado	$f_r$ [GHz]	S(1,1) [dB]	BW [MHz]
Plana	3,97	-21,83	75,20
100 mm	3,96	-37,39	81,90
75 mm	3,92	-24,04	86,90

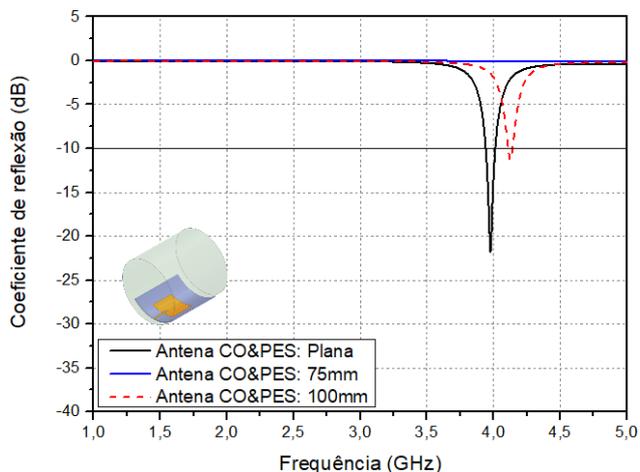


Fig. 6. Coeficiente de reflexão para antena de microfita flexível curvada sobre sólido cilíndrico no sentido do comprimento W.

TABELA III. DIMENSÕES EM MILÍMETROS (MM) DAS ANTENAS DE MICROFITA FLEXÍVEIS.

Estado	$f_r$ [GHz]	S(1,1) [dB]	BW [MHz]
Plana	3,97	-21,83	75,20
100 mm	4,12	-11,27	32,60
75 mm	indefinido	indefinido	indefinido

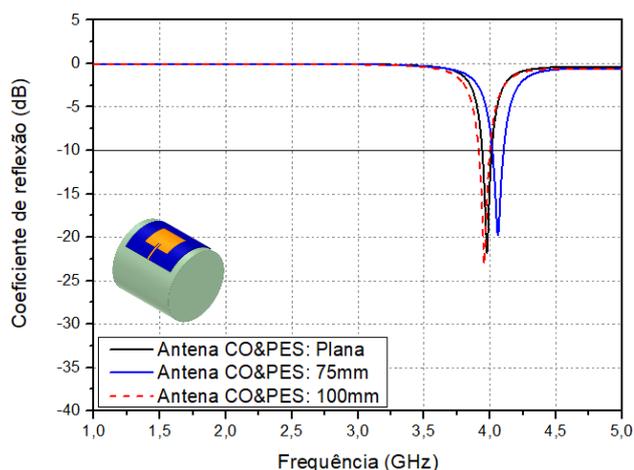


Fig. 7. Coeficiente de reflexão para antena de microfita flexível curvada sobre sólido cilíndrico no sentido do comprimento L.

TABELA IV. DIMENSÕES EM MILÍMETROS (MM) DAS ANTENAS DE MICROFITA FLEXÍVEIS.

Estado	$f_r$ [GHz]	S(1,1) [dB]	BW [MHz]
Plana	3,97	-21,83	75,20
100 mm	3,95	-23,18	86,90
75 mm	4,06	-19,75	86,90

De início, é observado que a frequência de ressonância nos estados planos, 100 mm e 75 mm é levemente alterada, ficando abaixo de 1,5% a diferença entre ambas. Logo, este parâmetro não chega a ser afetado devido a curvatura.

No coeficiente de radiação, a primeira curvatura faz com que o valor em dB diminua em até -15,56 dB (71,2%) e da primeira curvatura para a segunda, o valor é aumentado em 13,53 dB (55,5%). Pode-se concluir que uma leve curvatura em sua estrutura pode resultar em uma melhoria neste parâmetro, entretanto, essa melhoria tem um certo limite até que o S(1,1) volte a subir novamente.

Na largura de banda, é perceptível que quanto mais curvamos a antena, maior a sua largura, tendo um aumento de 15,5% do estado plano para o de 75 mm, que é o estado mais curvado.

Na frequência de ressonância o aumento do estado plano para o de 100 mm é de 3,7%, o que não chega a ser uma mudança de alto valor percentual, entretanto, podendo influenciar no uso da antena.

No S(1,1), a antena sofre de um alto aumento do estado plano para o curvado de 100 mm, chegando a ser 48,4%. Logo aqui, percebemos que diferentemente da primeira etapa, essa curvatura faz com que tenhamos um comportamento oposto.

No parâmetro da largura de banda, novamente ocorre um comportamento oposto ao visto na primeira etapa com esses mesmos dois estados, logo que na segunda etapa a largura sofre uma redução de 42,6 MHz (43,35%).

O caso especial desta etapa é a curvatura de 75 mm, logo que ao analisarmos o gráfico, ele se comporta como uma reta, não sendo possível extrair os parâmetros desta curvatura. E em relação ao estado plano e 100 mm, nota-se que os parâmetros

do S(1,1) e BW nos retornam resultados não tão satisfatórios quando comparamos com a primeira etapa.

No parâmetro da segunda coluna da Tabela IV, a frequência da plana para o de 100mm chega a ser mínima, porém, ela reduz em 0,02 GHz, todavia, na curvatura de 75 mm, a frequência é elevada, tendo um acréscimo de 2,7%. Com base nessa informação, pode-se teorizar que a leve curvatura neste sentido pode diminuir a frequência de ressonância, mas, a um certo limite que se ultrapassado, esse parâmetro volta a se elevar.

No coeficiente de reflexão, a diferença entre ambas se torna oposto ao primeiro parâmetro observado, logo que do estado plana para o de 100mm o valor é elevado em 1,35 dB (6,1%) e do 100 mm para o de 75 mm é reduzido em 3,43 dB (14,8%). A lógica para esse efeito pode ser a mesma do parágrafo anterior, onde a um certo limite de curvatura, o valor após se comporte oposto ao que já estava ocorrendo.

No último parâmetro, a largura de banda é aumentada em 11,7 MHz (15,5%) do estado plano para ambas curvaturas, logo que o valor permanece constante. Com a observação deste valor constante, é possível entender-se que a curvatura da antena neste sentido sofre poucas mudanças neste parâmetro.

### B. Diagrama de Radiação e Ganho

Neste parâmetro será mostrado o diagrama de radiação 2D da antena ainda plana e em seguida as curvaturas referentes a cada etapa, como ilustram as Fig. 8, 9 e 10. O diagrama de radiação da antena plana será mostrado isoladamente, diferente das curvaturas, onde cada figura apresenta dois diagramas um ao lado do outro, com o de 75 mm à esquerda e o de 100 mm à direita. Posteriormente, será apresentada uma tabela com os ganhos máximos obtidos de cada etapa.

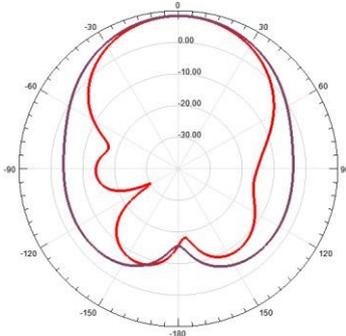


Fig. 8. Diagrama de radiação 2D da “Antena CO&PES” em seu estado plano.

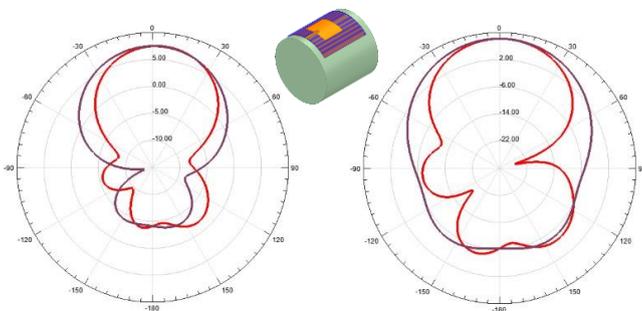


Fig. 9. Diagrama de radiação 2D da primeira etapa das curvaturas 75 mm (esquerda) e 100 mm (direita).

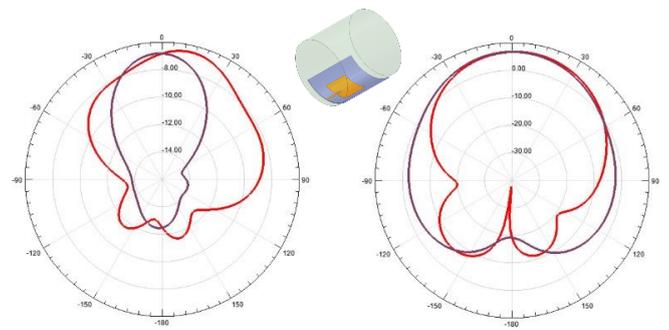


Fig. 10. Diagrama de radiação 2D da segunda etapa das curvaturas 75 mm (esquerda) e 100 mm (direita).

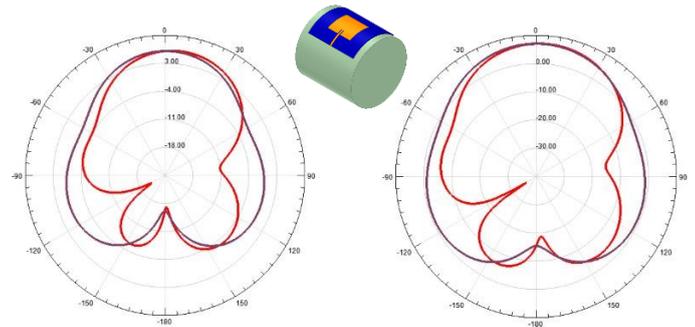


Fig. 11. Diagrama de radiação 2D da terceira etapa das curvaturas 75 mm (esquerda) e 100 mm (direita).

TABELA V. TABELA DO GANHO MÁXIMO DA “ANTENA CO&PES” EM CADA ETAPA.

Estado	1º Etapa	2º Etapa	3º Etapa
Plana	8,38 dB	8,38 dB	8,38 dB
100 mm	8,20 dB	6,70 dB	7,03 dB
75 mm	7,48 dB	-6,82 dB	6,04 dB

Na primeira etapa, observa-se que quanto mais a antena é curvada, menor vai se tornando o seu ganho máximo, tendo como uma diferença de 0,9 dB (10,8%) da plana para a de 75 mm. Essa redução pode impactar negativamente na radiação da antena, fazendo com que a certas distâncias ela não funcione.

Na segunda etapa, nota-se que do estado plano para o de 100 mm a redução é de 1,68 dB (20,0%), sendo quase o dobro de diminuição comparada com a 1º etapa. Já na curvatura de 75 mm, o ganho máximo chega a ser negativo e como já foi observado nos parâmetros anteriores, essa curvatura nesta segunda etapa não chegou a funcionar. Ao ver a imagem esquerda da Fig. 10, percebe-se a não conformidade do ganho da antena quando comparamos com as demais.

Na terceira etapa, a antena se comporta da mesma maneira da primeira etapa, com a redução de seu ganho máximo quanto mais o dispositivo é curvado, tendo uma diferença de 2,34 dB (27,9%) do seu estado plano para o mais curvado, superando a análise da primeira etapa.

#### IV. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho, é concluído que a curvatura da antena irá impactar em seu parâmetros, entretanto, nos diferentes sentidos em que o dispositivo é curvado, diferentes resultados apareceram, inclusive, em até no não funcionamento da antena, como foi visto na segunda etapa. O único parâmetro que teve seu comportamento igual nas três etapas, foi o do ganho máximo, onde em todos os casos esse ganho era reduzido quanto mais a antena era curvada. De acordo com os resultados apresentados, existe a possibilidade de utilizar este dispositivo em aplicações na área biomédica da tecnologia 5G, tendo em vista que diversas pesquisas são feitas utilizando deste equipamento flexível e têxtil para monitoramento de pacientes a distância e laudo rápido de doenças ocultas, como o próprio câncer.

#### REFERENCES

- [1] The wearable textile-based microstrip patch antenna preliminary design and development. Disponível em: <[https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8324149?casa\\_token=pQLBeGb2zR4AAAAA:RMPZFXV0RCJN3H8FV10LYX6txwEvKzUqXH6o3Fs\\_6owdawM6XnWtl8DCavq1mtZpnLjGAnoSsGn](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8324149?casa_token=pQLBeGb2zR4AAAAA:RMPZFXV0RCJN3H8FV10LYX6txwEvKzUqXH6o3Fs_6owdawM6XnWtl8DCavq1mtZpnLjGAnoSsGn)>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- [2] AMARO, N.; MENDES, C.; PINHO, P. Bending effects on a textile microstrip antenna. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5996697>>. Acesso em: 21 set. 2023.
- [3] SALONEN, P. et al. Effect of textile materials on wearable antenna performance: a case study of GPS antennas. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 20 jun. 2004.
- [4] HOLANDA, S. M. Estudo de metamaterial têxtil para aplicação em substrato de antenas planares para tecnologia WBAN. Tese de doutorado. PPGEEC / UFRN – Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/33969>. Acesso em: 10 jun. 2023.