

Desenvolvimento de antenas de microfita de padrão elíptico e retangular em 28 GHz aplicadas ao 5G

José Bruno O. de Araújo, Vanessa P. R. Magri Souza, Tadeu N. Ferreira, Leni J. Matos

Resumo—Este artigo apresenta o desenvolvimento, análise e comparação das antenas de microfita de *patch* retangular e elíptico para aplicação na nova tecnologia de quinta geração de comunicação sem fio, na frequência de 28 GHz, em ambiente *indoor*. O *software High Frequency Structure Simulator (HFSS)* foi utilizado na simulação e o desempenho foi analisado através do ganho, perda de retorno, perda de inserção e diagrama de irradiação das antenas. As antenas foram fabricadas com a placa RT/Duroid 5880LZ que apresenta o menor valor de constante dielétrica disponível no mercado, igual a 1,96. Os protótipos desenvolvidos mostraram boa adequabilidade dos resultados medidos com a simulação, apresentando perda de retorno igual a 24,78 dB para a antena de microfita de *patch* retangular e 15,75 dB para a elíptica, ambas em torno de 28 GHz.

Palavras-Chave—5G, Antena impressa, Antena de microfita, Perda de inserção.

Abstract—This paper presents the development, analysis and comparison between elliptical and rectangular microstrip patch antennas in order to apply them to the 5th generation technology of wireless communication at the frequency of 28 GHz. The *software High Frequency Structure Simulator (HFSS)* was used for the simulations and the performance was analysed over the gain, return loss, insertion loss and radiation pattern. The antennas were manufactured using RT/Duroid 5880LZ laminates with the lowest dielectric constant available, equals to 1.96. Measurements of return loss with the developed prototype show good adjustment to the simulated results, presenting 27.78 dB of return loss for the rectangular microstrip patch and 15.75 dB for the elliptical one, both around 28 GHz.

Keywords—5G, Printed antenna, Microstrip antenna, Insertion loss.

I. INTRODUÇÃO

Com o crescente número de dispositivos conectados às redes de comunicações móveis, observa-se que a Quarta Geração de Comunicações Móveis, também conhecida como 4G, está próxima do seu limite teórico em relação à taxa de dados e, conseqüentemente, à largura de faixa reservada para a operação desse sistema, já que o espectro de frequências é limitado. Com isso, o uso de novas faixas de operação e técnicas para a Quinta Geração de Comunicações Móveis (5G) já estão em debate e com previsão de implementação para 2020 [1]. A faixa de 28 GHz tem sido um dos alvos de estudo, pois poderá permitir maiores larguras de banda reservadas para os sistemas. Estudos recentes da Samsung indicam forte tendência para o uso dessa frequência de operação na tecnologia 5G. Além disso, vem sendo proposto o uso de femtocélulas e a separação entre ambientes *indoor* e *outdoor*

Departamento de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, E-mail: josebruno@id.uff.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq por meio de bolsa PIBIC/UFF.

[2]. Tais características e o fato do sistema operar em altas frequências fazem com que haja um aumento considerável nos estudos sobre as antenas que poderiam lidar com as demandas do 5G.

Nesse cenário, as antenas de microfita se destacam por serem antenas *low-profile*, baratas e de fácil integração com circuitos de microondas. Uma antena de microfita é composta, basicamente, por um elemento metálico irradiante (*patch*) montado sobre uma das faces de um substrato dielétrico que, por sua vez, pode estar sobre um plano de terra [4].

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver e analisar o uso de antenas de microfita de *patch* retangular e elíptico operando na frequência de 28 GHz, atendendo aos requisitos do 5G, utilizando placas Duroid/RT 5880LZ, que apresentam o substrato com o menor valor de constante dielétrica do mercado, igual a 1,96 [3]. Alguns parâmetros como largura de feixe, largura de banda e ganho serão discutidos. A antena de microfita retangular foi escolhida por apresentar fácil dimensionamento e implementação com frequências de microondas [4]. Já o dimensionamento da antena elíptica é mais complexo, porém fornece uma maior flexibilidade em relação a sua frequência de ressonância e polarização [5].

Na Seção II, descrevem-se as características relevantes e necessárias para modelagem das antenas de microfita e das suas linhas de transmissão nos *softwares HFSS e Ansys Designer*. Na Seção III, com as antenas devidamente dimensionadas e fabricadas, os resultados das simulações e medições são apresentados. Na Seção IV, são apresentadas as conclusões do trabalho.

II. MODELO DOS PROTÓTIPOS

As duas antenas foram fabricadas utilizando a placa RT/Duroid 5880LZ da *Rogers Corporation* [3]. Essa placa apresenta um substrato com espessura igual a $0,508 \text{ mm} \pm 0,001$, constante dielétrica igual a $1,96 \pm 0,04$ e tangente de perda igual a 0,0019. O metal utilizado por essa placa é o cobre com espessura igual a $35 \text{ } \mu\text{m}$. O projeto foi realizado para a frequência de operação igual a 28 GHz.

As antenas foram alimentadas através de linhas de transmissão de microfita com um transformador de quarto de onda. Nesse método, é empregado o uso do transformador para realizar o casamento de impedância entre a linha de 50 Ω e o *patch*.

O dimensionamento das antenas é realizado a partir das equações encontradas na literatura para as antenas retangular [4] e elíptica [6], e utilizando o *software MATLAB* para implementação dos cálculos.

A. Antenas de Microfita Retangular

A antena de microfita de *patch* retangular é a mais comum entre esses tipos de antena devido ao seu simples dimensionamento. O comprimento do *patch* (L) é, aproximadamente, igual à metade do comprimento de onda, e a emissão de sinal ocorre com polarização linear [7]. A Figura 1 mostra os componentes da antena de *patch* retangular e os seus principais parâmetros. Os valores finais desses parâmetros são encontrados na Tabela I.

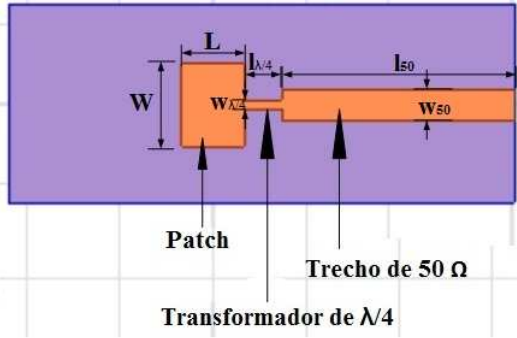


Fig. 1. Parâmetros e componentes da antena de microfita de *patch* retangular.

TABELA I

VALORES DOS PARÂMETROS DA ANTENA DE MICROFITA RETANGULAR.

Parâmetro	Valor (mm)
W	4,4035
L	3,2857
$w \frac{\lambda}{4}$	0,6332
$l \frac{\lambda}{4}$	1,9133
w_{50}	1,5230
l_{50}	19,1300

B. Antenas de Microfita Elíptica

O projeto de antenas de microfita elíptica é bem complexo por envolver a Função de Mathieu e a Função Modificada de Mathieu, porém esse projeto oferece maior flexibilidade na sua concepção, liberdade quanto à frequência de operação e possibilidade de obter polarização circular [5] [6]. Chamando de a e b , respectivamente, os semieixos maior e menor da elipse, a Figura 2 mostra uma configuração típica de uma antena de microfita elíptica e os seus parâmetros. Além disso, a Tabela II apresenta as dimensões utilizadas na antena elíptica.

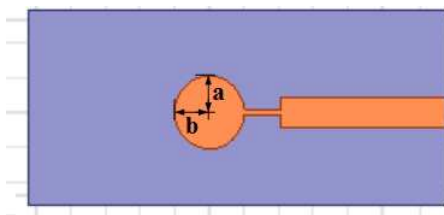


Fig. 2. Parâmetros da antena de microfita de *patch* elíptica.

TABELA II

VALORES DOS PARÂMETROS DA ANTENA DE MICROFITA ELÍPTICA.

Parâmetro	Valor (mm)
a	2,1046
b	2,0216
$w \frac{\lambda}{4}$	0,3460
$l \frac{\lambda}{4}$	1,9133
w_{50}	1,5230
l_{50}	19,1300

Com as duas antenas devidamente dimensionadas, algumas simulações foram realizadas, utilizando o *software* HFSS, a fim de se obterem alguns parâmetros importantes para análise do comportamento das antenas, na frequência central de 28 GHz. A Figura 3 apresenta as curvas de perda de retorno das antenas retangular e elíptica.

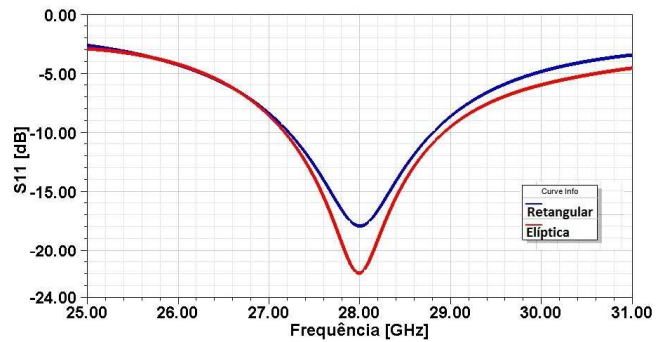


Fig. 3. Perda de retorno das antenas simuladas no HFSS.

Através do gráfico, observa-se que a antena retangular apresentou na frequência de operação (28 GHz) uma perda de retorno igual a 17,93 dB e a elíptica, 21,87 dB, portanto, a antena elíptica apresentou um valor de perda de retorno melhor. Analisando a largura de banda no ponto de 10 dB de perda de retorno, a antena elíptica também apresentou uma largura de banda maior, 1,78 GHz, ao passo que a antena retangular apresentou 1,57 GHz de largura de banda.

Os diagramas de irradiação 3D das antenas também foram simulados no HFSS e são apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente, para as antenas retangular e elíptica.

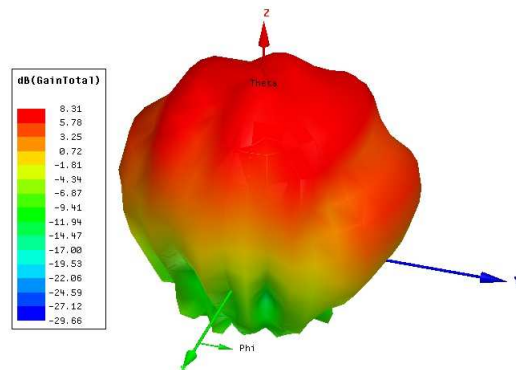


Fig. 4. Diagrama de irradiação 3D da antena retangular.

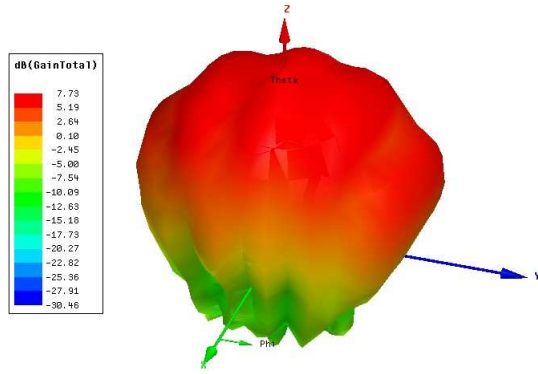


Fig. 5. Diagrama de irradiação 3D da antena elíptica.

Os diagramas de irradiação mostraram que a antena retangular obteve 8,31 dB de ganho máximo e a elíptica, 7,73 dB.

Nas Figuras 6 e 7 estão os diagramas polares dos planos E e H das antenas retangular e elíptica, respectivamente.

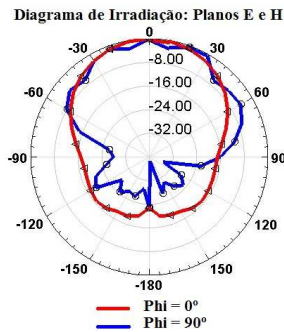


Fig. 6. Diagrama de irradiação polar da antena retangular.

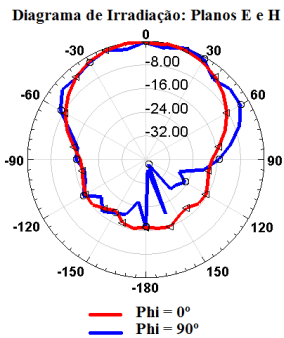


Fig. 7. Diagrama de irradiação polar da antena elíptica.

A antena de microfita retangular apresentou uma largura de feixe de $66,41^\circ$ no plano H ($\phi = 0^\circ$) e $65,36^\circ$ no plano E ($\phi = 90^\circ$) e a elíptica, $74,38^\circ$ no plano H e $71,42^\circ$ no plano E. Dessa forma, é possível notar que a antena retangular é mais diretiva que a antena elíptica.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com todos os parâmetros das antenas definidos, foi fabricado um par de cada tipo de antena utilizando a prototipadora

de circuitos impressos LPKF S103. A Figura 8 mostra as antenas fabricadas.

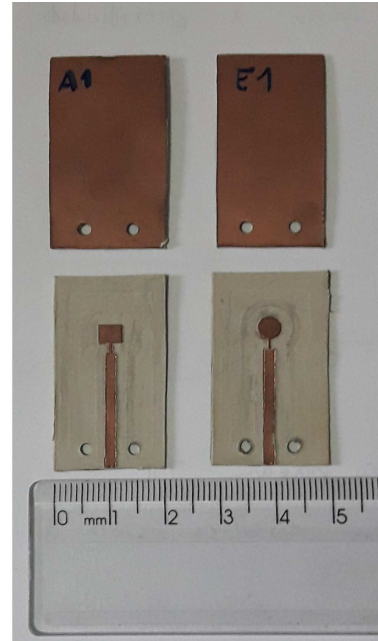


Fig. 8. Protótipo das antenas fabricadas.

Um conector do tipo SMA/PCB de 50Ω foi utilizado durante as medições. Além disso, para viabilizar as medições na frequência de 28 GHz, foi necessária a utilização do Analisador Vetorial de Redes VectorStar MS4647B da Anritsu. Através dele é possível conectar o par de antena nas suas portas e, de maneira simultânea, analisar os parâmetros de espalhamento e Carta de Smith, por exemplo.

O cenário de testes foi montado no Laboratório de Antenas e Propagação (LAProp) da UFF em uma sala de, aproximadamente, 10 m^2 , representando o que seria uma femtocélula no sistema 5G. A Figura 9 mostra o cenário de testes durante uma das medições.



Fig. 9. Cenário de testes.

Através do Analisador Vetorial de Redes foi possível obter os parâmetros de espalhamento das antenas e através desses,

encontrar diversas características das antenas. Assim como durante as simulações, o primeiro parâmetro analisado foi a perda de retorno (S_{11}), em dB. As Figuras 10 e 11 mostram as curvas de S_{11} das antenas retangular e elíptica, respectivamente.

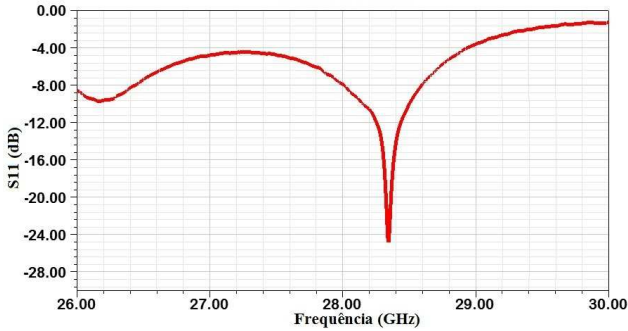


Fig. 10. S_{11} medida da antena retangular.

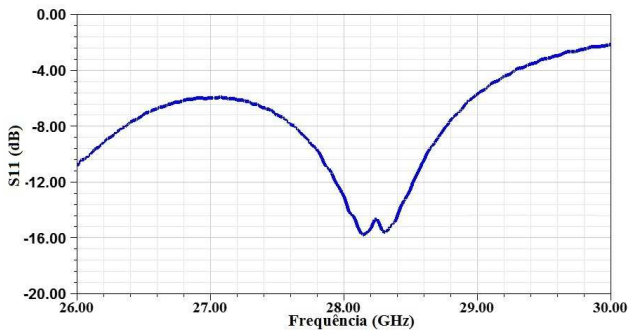


Fig. 11. S_{11} medida da antena elíptica.

A antena retangular apresentou banda de 0,35 GHz e a elíptica, 0,8 GHz. Ademais, a antena retangular apresentou perda de retorno igual a 24,58 dB na frequência central de 28,35 GHz e a elíptica, 15,75 dB em 28,14 GHz, significando que a retangular transmite uma potência maior em relação ao que chega em sua porta de entrada. Conclui-se, portanto, que a antena retangular obteve valores comparativamente melhores do que a elíptica em relação à perda de retorno, ao passo que a elíptica apresentou maior largura de banda. Além disso, é possível notar que houve um pequeno deslocamento da frequência de operação das antenas quando comparado aos valores obtidos nas simulações. Esse deslocamento em frequência pode ser explicado pelo fato do HFSS considerar um ambiente ideal nas simulações, ao passo que as medições não foram realizadas em uma câmara anecoica, e sim em um ambiente sujeito a diversos tipos de interferências e multipercursos. Nessa análise, também se deve levar em consideração a incerteza de $\pm 0,04$ da constante dielétrica da placa 5880/LZ. Tal incerteza pode influenciar diretamente no posicionamento da frequência de operação dos protótipos fabricados.

Utilizando a mesma configuração para as medições da perda de retorno das antenas, os gráficos de VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) também foram medidos. As Figuras 12 e 13 mostram o VSWR das antenas retangular e elíptica, respectivamente.

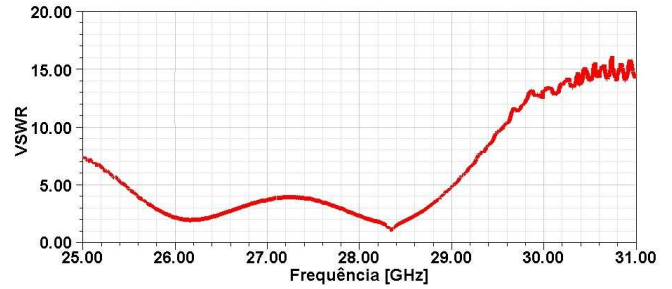


Fig. 12. VSWR da antena de microfita retangular.

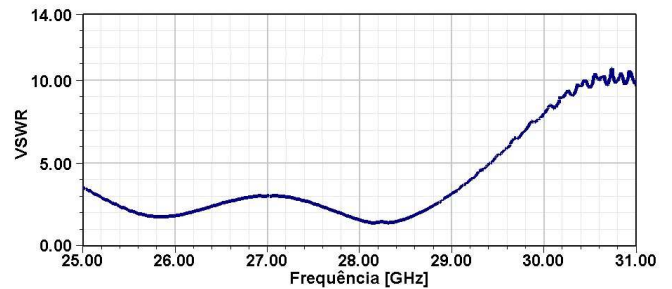


Fig. 13. VSWR da antena de microfita elíptica.

A antena elíptica apresentou 1,39 em 28,14 GHz e retangular, 1,12 em 28,35 GHz. O VSWR indica o quão casado estão o *patch* e as linhas de transmissão das antenas, portanto, é possível observar que a antena de microfita retangular apresentou um melhor casamento de impedância entre os seus componentes.

Um outro experimento consistiu em utilizar um par de antenas do mesmo tipo sendo uma transmissora e outra receptora. A antena transmissora estava posicionada no centro de um semicírculo de 70 cm de raio, enquanto a receptora estava na borda desse semicírculo de maneira que a sua posição angular era gradativamente alterada e o S_{21} , em dB normalizado, era medido. A Figura 14 ilustra essa configuração, onde AVR é o Analisador Vetorial de Redes. Com isso, foi possível realizar um teste de mobilidade angular das antenas *indoor* através de uma caracterização experimental da perda de transmissão. As Figuras 15 e 16 mostram essa caracterização para as antenas de microfita retangular e elíptica, respectivamente.

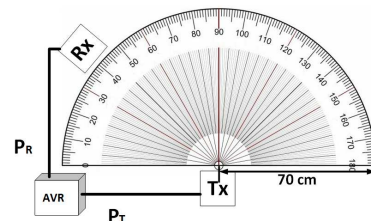


Fig. 14. Configuração do teste de mobilidade angular das antenas *indoor*.

Através da caracterização experimental da perda de transmissão do conjunto, é possível observar que a antena retan-

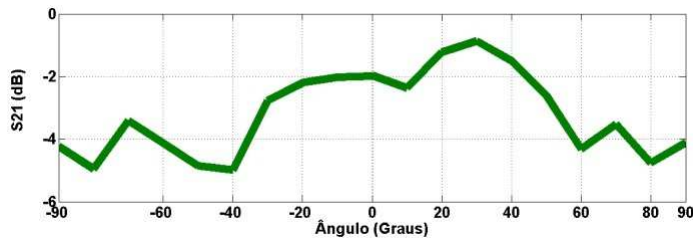


Fig. 15. Caracterização experimental da perda de transmissão do canal para a antena retangular.

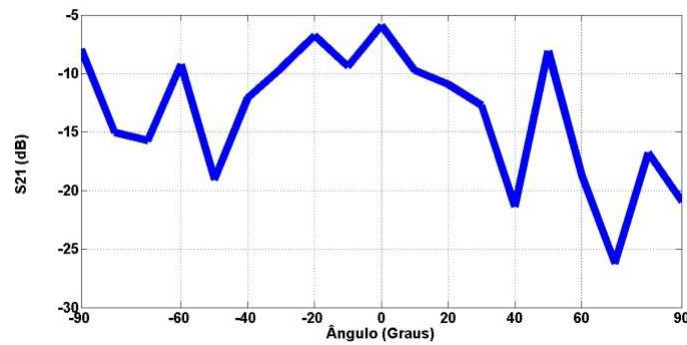


Fig. 16. Caracterização experimental da perda de transmissão do canal para a antena elíptica.

gular apresentou um nível de sinal maior, tanto no lóbulo principal quanto nos secundários em relação à antena elíptica.

Também foi realizada a medição da perda de inserção do conjunto transmissor-canal-receptor utilizando antenas do mesmo tipo. Esse experimento consistiu em posicionar duas antenas do mesmo tipo a uma distância considerada de campo distante (23 cm para ambas as antenas) e, gradualmente, afastá-las até 267 cm, em linha reta, enquanto o parâmetro S_{21} , em dB, foi medido, conforme ilustra a Figura 17, onde d é distância entre as antenas. A Figura 18 mostra a tal perda em escala logarítmica da distância para as antenas fabricadas.

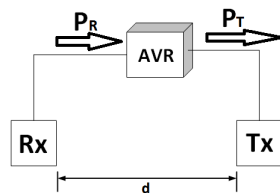


Fig. 17. Configuração do teste de mobilidade espacial.

Através do gráfico de perda de inserção, é notável que para a distância inicial a antena elíptica apresentou um nível de sinal pior, devido ao fato da mesma apresentar uma largura de feixe maior. Essa diferença entre os níveis de sinal das antenas pode ser explicada através do VSWR (Figuras 12 e 13), onde é possível observar que a antena retangular apresentou um melhor valor. Ademais, com o afastamento gradual entre as antenas, houve mais perda com a retangular do que na elíptica,

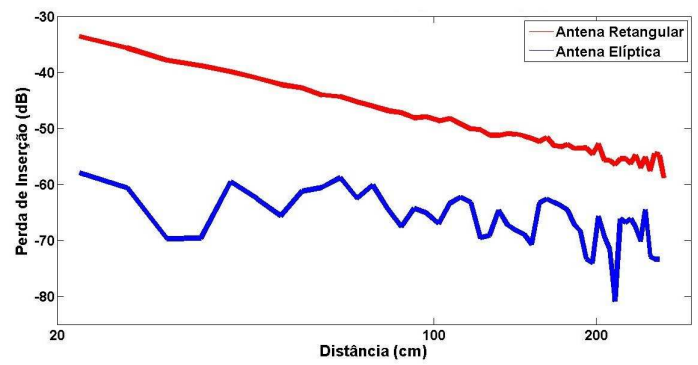


Fig. 18. Perda de inserção do sistema em função da distância.

indicando que, com uma largura de feixe maior, houve uma contribuição positiva dos multipercursos para a elíptica.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto o uso de antenas de microfita de *patch* elíptico e retangular para utilização em ambiente *indoor* na arquitetura do 5G na frequência de 28 GHz. Comparando as antenas fabricadas com as simuladas, as duas antenas apresentaram valores satisfatórios de perda de retorno, mas com larguras de banda menores. Quanto à perda de sinal com a distância, para uma mesma potência de transmissão, observa-se que a antena microfita retangular apresentou uma queda mais acentuada com a distância em escala logarítmica. A antena elíptica apresentou um nível de sinal mais baixo, porém a curva de perda de inserção se manteve com uma queda mais lenta com a distância. Os resultados mostraram que as antenas poderiam ser utilizadas na faixa de 28 GHz em uma femtocélula no sistema 5G. Na continuidade deste trabalho, as antenas serão submetidas a um sinal com características do 5G para analisar os seus respectivos comportamentos nesse cenário.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Iniciação Científica fornecida e à ANRITSU, pela disponibilidade do Analisador Vetorial de Redes. Foi usado o ANSYS HFSS 14.0 com licença acadêmica.

REFERÊNCIAS

- [1] Erik Dahlman, Gunnar Mildh, Stefan Parkvall, Janne Peisa, Joachim Sachs, and Yngve Selén, *5g Radio Access. Ericsson review*, 6:2-7, 2014.
- [2] Fredrik Rusek, Daniel Persson, Buon Kiong Lau, Erik G Larsson, Thomas L Marzetta, Ove Edfors, and Fredrik Tufvesson. *Scaling up mimo: Opportunities and challenges with very large arrays*. IEEE Signal Processing Magazine, 30(1):40-60, 2013.
- [3] Rogers Corporation. RT/Duroid 5880LZ *High Frequency Laminates*, 2015. Rev. 1191 052715.
- [4] Constantine A Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, John Wiley & Sons, 2016.
- [5] Amit Agrawal, D Vakula, and NVSN Sarma. *Design of elliptical micro strip patch antenna using ann. PIERS proceedings China*, 264-268, 2011.
- [6] Liang Shen. *The elliptical microstrip antenna with circular polarization. IEEE transactions on antennas and propagation*, 29(1):90-94, 1981.
- [7] J. Rodriguez et. al., "Fabricação e testes de antenas de microfita aplicadas à tecnologia 5G", in *XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, Juiz de Fora, MG, Setembro de 2015, pp. 265-266.