

# Fuzzy Logic Applied to Azimuth Control of Antennas in 5G Networks

Yuri S. Barbosa  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
yuri2569@gmail.com

Edemir M. C. Matos  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
edemir.matos@gmail.com

Miércio C. de A. Neto  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
miercio@ufpa.br

Fabrizio J. B. Barros  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
fjbbrito@gmail.com

Jasmine P. L. Araújo  
LCT-UFPA  
Belém, Pará, Brasil  
jasmine.araujo2018@gmail.com

## Resumo

Keeping all devices connected with satisfactory quality of service is a challenge for future mobile access technologies. The improvement in the coverage area of base stations can offer conditions to connect more challenges. In this context, this work aims to present a simulation of azimuth antenna control system using fuzzy logic, in order to increase the capacity of network connections while maintaining quality of service. We used the ITU-R M. [IMT-2020.EVAL] test scenario, and the results showed an increase in the capacity of base stations, based on the signal interference-to-noise ratio (SINR) and we found that the levels quality of service were met. From the fuzzy logic employed, SINR values were obtained that indicate the signal quality. These results are important, as the demand for high data rates from current mobile networks (4G) will be inherited by its successor (5G).

Azimuth, Fuzzy, 5G, SINR, otimização.

---

Copyright © by the paper's authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

In: Proceedings of the IV School of Systems and Networks (SSN 2020), Vitória, Brazil, December 14-15, 2020. Published at <http://ceur-ws.org>.

## 1 Introdução

Espera-se que mais de 50 bilhões de dispositivos estejam conectados até o final deste ano [Nis15], e atender as demandas de conectividade é um dos desafios para diversos grupos de pesquisa. O aumento contínuo da alta demanda de tráfego de dados e o fornecimento de diferentes Qualidades de Serviços (QOS) ao cliente também é um desses desafios. Especialistas apontam que o 4G e o 5G poderão coexistir, isso porque algumas características específicas ajudarão as operadoras a transacionarem para a nova rede sem pressionar os usuários. A tecnologia 5G prevê uma grande melhoria na velocidade e na cobertura de internet móvel, podendo ser até 100 vezes mais rápida que uma conexão 4G comum. Além disso, o recurso possibilitaria uma resposta mais veloz do que a de uma rede WiFi, por exemplo [Sas17],[Abb20].

O 5G não deve substituir completamente o 4G, em vez disso, irá se basear na conexão LTE para funcionar. Segundo o relatório mais atual do GSMA Intelligence, apenas 15% da população mundial estarão usando 5G em 2025. No mesmo ano, 59% das pessoas estarão usando LTE, sendo que em 2018 essa porcentagem correspondia a 43%. No documento também consta que o LTE servirá como base para muitas operadoras por pelo menos 10 anos [The Mobile Economy 2020 GSM Association] [Sas17],[Abb20],[Lin17].

No entanto, ainda há problemas a serem resolvidos, referente à melhoria das redes 5G, onde pode-se destacar a área de cobertura das Estações Rádio Base (ERBs). Partindo do pressuposto de que frequência e distância são inversamente proporcionais, quanto mais altas são as frequência mais baixas são as distâncias.

O relatório ITU-R M.[IMT-2020.EVAL] [Int17] prevê uma separação de 200 metros entre cada ERB para a configuração de um ambiente urbano denso de banda larga móvel aprimorada (Dense Urban Enhanced Mobile Broadband - eMBB) [Int17], é esperado que o sinal dos transmissores tenha uma ótima distribuição em relação a sua área de cobertura. Técnicas baseadas em algoritmos de otimização e controle tem sido aplicada para auxiliar no processo de otimização das áreas de cobertura. Por exemplo: a lógica *fuzzy*, tem como principal vantagem em relação a algoritmos meta heurísticos a ausência de treinamento [Sim69][Gog73], gerando respostas que satisfazem a necessidade de sistemas em tempo real.

Este trabalho propõe otimizar a área de cobertura para redes 5G, utilizando lógica *fuzzy* aplicada ao controle de azimute das antenas transmissoras em ERBs. Foram consideradas as recomendações do ITU-R M. [IMT-2020.EVAL] e ITU-R P-2135 [Int17][Gog73] para a criação do cenário de teste *outdoor*, utilizado na avaliação da proposta de otimização.

## 2 Metodologia

Esta seção apresentará de forma breve o cenário de estudo e abordará os tópicos mais relevantes sobre a lógica *fuzzy* utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

### 2.1 Cenário

O estudo foi simulado em uma área da Região Metropolitana de Belém do Pará, onde as ERBs são posicionadas de acordo com a topologia base de cobertura do relatório ITU-R P-2135 [Con20], apresentada na Figura 1. Nota-se que a localização das ERBs são os centros dos hexágonos destacados em coloração verde claro, totalizando 19 ERBs, cada uma possuindo três setores de radiação numerados de 1 a 54.

A partir da topologia base presente no relatório ITU-R P-2135 [Int17] apresentada na Fig. 1, foram dispostas 19 ERBs em um formato hexagonal, com os parâmetros de transmissão presentes na Tabela 8-2 b) do ITU-R M. [IMT-2020.EVAL] [Sas17], no entanto com o intuito de se adequar a operação do 5G prevista para o Brasil a frequência usada foi a de 3,5 GHz [Int19][Con20]. O cenário foi dividido em 6 regiões, cada região composta por uma ERB central auxiliar e três ERBs padrões, com o azimute das ERBs auxiliares controlados pela lógica *fuzzy*.

As antenas das ERBs auxiliares possuem parâmetros similares aos padrões definidas pelo ITU-R M.[Sas17], porém diretivas e ativadas somente se houver necessidade, baseado na resposta do controlador fuzzy, que por sua vez terá como saída a direção de apontamento do azimute.

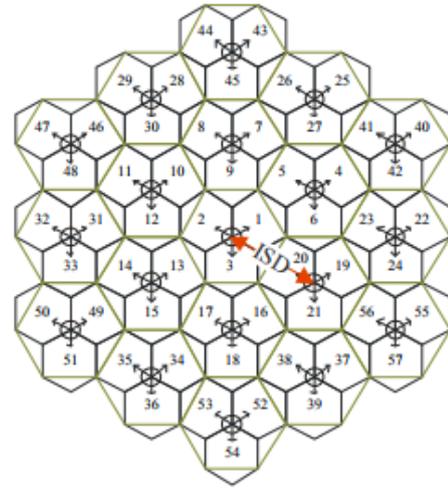


Figura 1: Desenho base de cobertura relatório ITU-R P-2135.

Para facilitar a visualização da proposta foi feita uma divisão por cores, onde as ERBs padrões do sistema são representadas pela cor vermelha e as ERBs auxiliares são representadas pela cor amarela. Então a simulação completa é criada com todas as regiões. A Fig. 2 mostra o cenário completo, onde é possível observar círculos pretos representando as regiões numeradas em amarelo, o posicionamento das ERBs padrões numerados em azul e por fim as ERBs auxiliares..

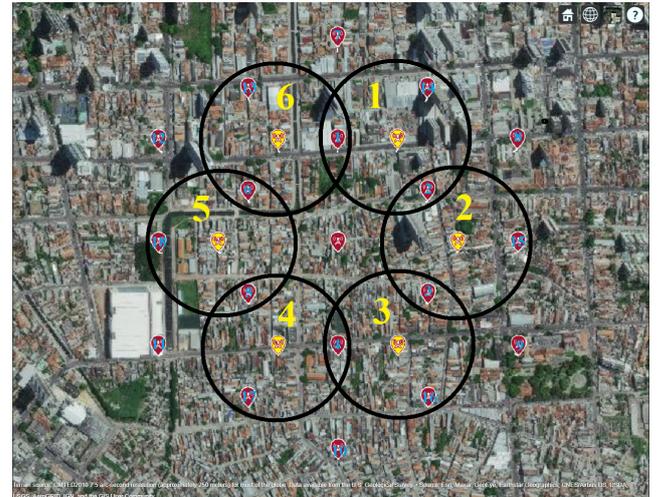


Figura 2: Cenário simulado

### 2.2 Controle fuzzy

Como redes móveis são um sistema de tempo real, o controle *fuzzy* foi escolhido por atender a necessidade de tempo das respostas para esta aplicações. A metodologia de decisão, consiste no controlador analisar sequencialmente as entradas, iniciando nas antenas da região 1 e terminando na região 6.

Definiu-se para todas as entradas as seguintes funções de associação: Normal (0 – 10) com formato trapezoidal, pois enquanto o número de receptores não for maior que 10 ainda não existe sobrecarga. As funções de associação Média (10 - 15) e Alta (12 – 17) ambas definidas com formato triangular e MuitoAlta (14 – 20) também tem o formato trapezoidal, pois qualquer quantidade maior que 20 é “MuitoAlta” [Wit94].

Neste trabalho, utiliza-se o controlador Mamdani. Operando de maneira que cada regra é uma variável condicional *fuzzy* do controlador, onde diferentes relações *fuzzy* podem ser extraídas variando as mesmas [Wit94]. Esta variação pode ser obtida a partir da operação lógica definida na Equação 1.

$$\mu() = \mu_j(\text{Ant}A) \wedge \mu_i(\text{Ant}B) \wedge \mu_h(\text{Ant}C) \quad (1)$$

O método para defuzzificação utilizado neste trabalho foi a Média dos Máximos. Transformando as saídas *fuzzy* nas variáveis de saída crisp (Y), que irá direcionar antena da ERB auxiliar (), representando a saída definitiva do método empregado. Este Método da Média dos Máximos calcula o centro ponderado da região formada pela união dos conjuntos *fuzzy* de saída, entre os núcleos dos conjuntos *fuzzy* às quais o elemento pertence, ponderadas pelo grau de pertinência, de acordo com Equação (2) [Wit94].

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_i Y_i}{\sum_{i=1}^k \mu_i} \quad (2)$$

A lógica utilizada para criar as regras do controle foi baseada na topologia do cenário (ver Fig. 2). Logo, a base de regras é projetada para dar prioridade decrescente as ERBs da região. Onde, o controlador *fuzzy* define as ERBs como A, B e C. A lógica *fuzzy* proposta possui 61 regras, que são acionadas a partir das 3 entradas que correspondem ao número de receptores requisitando acesso em cada ERB padrão das regiões, gerando uma saída que corresponde ao ângulo de azimute do transmissor.

O posicionamento dos receptores foi definido aleatoriamente dentro do ambiente de simulação. A quantidade foi escolhida de forma a manter as ERBs sempre com seu número máximo (10) de receptores. Criando desta forma a problemática a ser solucionada pelo sistema *fuzzy* proposto.

Segundo a literatura o cenário de estudo de caso é classificado como urbano e para este tipo de ambiente recomenda-se o uso do modelo de perda de propagação Close-In, que estima a perda de percurso [Sum16]. Esta modelagem nos permite obter os valores de potência recebida nos receptores e assim avaliar o SINR (Signal

to Interference plus Noise Ratio) 3 para avaliar se os níveis de qualidade estão no limiar aceitável, onde

$$SINR = P/I + R \quad (3)$$

Onde P é a potência do sinal de interesse, I é a potência de interferência dos outros sinais na rede e N é algum ruído, que pode ser constante ou aleatório.

### 3 Testes e Avaliações

Um total de 100 simulações foram realizadas, com a variação da quantidade e a posição dos receptores. Optou-se por manter a quantidade mínima de receptores em 10 receptores por ERB, para que as mesmas sempre estejam em sobrecarga. Os valores do SINR, número de receptores solicitando acesso, número de receptores conectados com e sem o uso do controle *fuzzy* foram extraídos e comparados para avaliar o sistema proposto.

Usou-se como exemplo para este trabalho, os dados retirados das regiões 1 e 6. Fazem parte destas regiões as ERBs 1, 2, 6, 13 e 14, com a ERB1 localizadas entre as duas regiões. A Tabela 1 mostra os dados extraídos da simulação apresentando a média dos valores extraídos.

Tabela 1: Dados das regiões 1 e 6.

ERB	1	2	6	13	14
Numero de seleções (%)	8	51	34	39	40
SINR médio antes da decisão (dB)	24,28	25,36	24,45	24,10	24,62
SINR médio após a decisão (dB)	24,07	25,20	24,73	24,37	24,39
Média de Rx após a decisão	10,69	10,57	12,38	13,05	12,61

A tabela 1 apresenta os resultados das simulações neste trabalho, e é possível observar que a ERB1 foi escolhida 8% das vezes e obteve um aumento de 6,9% na quantidade de conexões, enquanto a ERB 2 foi selecionada 51% das vezes e teve um aumento de 5,7%. As ERBs 6, 13 e 14 tiveram 34, 39 e 40 % das escolhas e um aumento de 20,3, 30 e 20,6 % de aumento nas conexões, em média cerca de 15,6% mais receptores foram conectadas as duas regiões apresentadas na tabela. O valor de SINR médio após a decisão permaneceu similar ao anterior a decisão com alguns valores até maiores, indicando um cenário ótimo para acesso, mesmo sendo influenciado pela ativação de mais transmissores que consequentemente causam mais interferência a rede.

## 4 Conclusão

O sistema *fuzzy* proposto mostrou resultados satisfatórios no controle de decisão do direcionamento do azimute, considerando um cenário de estudo de caso em condições de sobrecarga na capacidade de receptores. Os resultados obtidos das simulações, denotam que apesar da evidente sobrecarga do sistema, os usuários foram atendidos com um nível de SINR satisfatórios. Outra contribuição deste trabalho, é um controle inteligente em tempo real, definindo parâmetros para avaliação de qualidade. Com a divisão em regiões proposto é possível escalonar o controle para outros cenários de maior ou menor complexidade, mantendo a topologia de uma ERB localizada no centro de outras três. Observa-se que além de ser possível aplicar a lógica fuzzy a rede 5G, também é possível obter resultados satisfatórios em relação a conexões entre transmissores e receptores.

## Acknowledgment

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará (UFPA), ao PPGEE / UFPA, ao LCT / UFPA e a CAPES pelo suporte e apoio concedido ao desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências

- [Nis15] P. Nisha, S. Shantanu, S. K. Awadhesh, “A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication”. 2015
- [Sas17] S. Sasha, “LTE-WLAN aggregation (LWA): benefits and deployment considerations”, Intel corporation white paper, 2017.
- [Abb20] K. Abbas, K. T. Ahmed, A. Rafiq, W. C. Song, S. J. Seok. “An LTE-WiFi Spectrum Aggregation System for 5G Network: A Test-bed”, International Conference on Information Networking (ICOIN), 2020.
- [Lin17] C.C. Huang, W. C. Lin. “A radio transceiver architecture for coexistence of 4G-LTE and 5G systems used in mobile devices”, IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 2017.
- [Int17] International Telecommunication Union, “Draft new Report ITU-R M. [IMT-2020.EVAL] - Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020,” ITU-R SG05 Contribution 57. 2017.
- [Sim69] M. G. Simoes and I. S. Shaw, “Controle e Modelagem Fuzzy. Blucher”, FAPESP, 1969.
- [Gog73] J. Goguen, L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Information and control, vol. 8 (1965), pp. 338–353. - L. A. Zadeh, “Similarity relations and fuzzy orderings,” Information sciences, vol. 3 (1971), pp. 177–200. Journal of Symbolic Logic, 38(4), 656-657, 1973.
- [Int19] International Telecommunication Union, “Technical characteristics of autonomous maritime radio devices operating in the frequency band 156-162.05 MHz,” Recommendation M.2135. 2019.
- [Con20] CONSULTA PÚBLICA Nº 50 <https://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?Codigo=Processo=C2356Tipo=1Opcao=andamento>. Acessado em 2020
- [Wit94] P. Witold, “Why triangular membership functions? Fuzzy sets and Systems”. 1994.
- [Sum16] S. Sun, et al, “Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5G wireless communications,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 65, No.5, pp.2843-2860, 2016.