

Mitigação de interferência em redes de próxima geração utilizando técnicas de clusterização e de inteligência

Luiz Felipe Coelho e Silva¹, Marcelo de Souza Santos², Fábio de Oliveira Torres², Diego Lisboa Cardoso¹

¹ Instituto de Tecnologia – ITEC, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Brasil

² Faculdade de Sistemas de Informação, Faculdade Metropolitana de Marabá, Marabá, Brasil

luiz.coelho@itec.ufpa.br, marcelo.php001@gmail.com, fabio.torres@unifesspa.edu.br, dliisboacardoso@ufpa.br

Resumo — Este trabalho visa analisar um modelo de mitigação de interferências entre *Small Cells* em um cenário denso a partir do uso de técnicas baseadas na inteligência computacional, acompanhando o comportamento relacionado à descarga da bateria dos equipamentos dos usuários móveis, quando este era aplicado. Para que o objetivo proposto fosse alcançado, primeiramente, foi desenvolvido um modelo analítico no qual os valores da SINR (*Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio*), antes e depois da aplicação do modelo de clusterização, foram comparados e posteriormente, para fins de validação, foram executadas simulações, das quais parâmetros de QoS (*Quality of Services*) foram coletados e avaliados. A partir da aplicação do modelo, pôde-se constatar melhorias no tráfego de dados em aproximadamente 80% das *Small Cells* dispostas nos cenários, nos quais observou-se um aumento significativo na SINR e o comportamento do módulo de bateria, em relação ao seu consumo, manteve-se inalterado. Ademais, por meio das simulações, observou-se que houve uma melhoria na qualidade dos serviços oferecidos aos usuários, como a redução no valor do atraso dos pacotes em mais de 33% e também uma queda no número de pacotes descartados.

Palavras-Chave— *Small Cells, Redes de Próxima Geração, Interferência.*

Abstract — This work aims to analyze a model of mitigating interference between *Small Cells* in a dense scenario using techniques based on computational intelligence, monitoring the behavior related to battery discharge equipment of mobile users, when it was applied. To achieve the proposed objective, first, we developed an analytical model in which the values of SINR (*Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio*) before and after application of clustering model were compared and thereafter to validation purposes, simulations were performed, of which QoS parameters (*Quality of Services*) were collected and evaluated. From the application of the model, it could be seen improvements in approximately 80% of data traffic of *Small Cells* arranged in scenarios where there was a significant increase in SINR and the battery module behavior with regard to their consumption, remained unchanged. Moreover, through the simulations, it was observed that there was an improvement in the quality of services offered to users, such as the reduction in packet delay value by more than 33% and also a drop in the number of dropped packets.

Keywords—*Small Cells, Next Generation Networks, Interference.*

I. INTRODUÇÃO

O aumento do número de usuários móveis, as crescentes exigências por maiores taxas de dados e qualidade de serviços, alimentada pela mudança de padrões de comunicação com a implantação das redes 4G e futuramente 5G, apoiadas pelo desenvolvimento e maior introdução no mercado de dispositivos móveis inteligentes, como os *Smartphones*, ensejam o aumento na corrida das empresas pela construção de novas soluções.

Muitas delas realizaram vários estudos a fim de traçar um perfil da utilização das atuais redes de telefonia celular e construir uma previsão para o tráfego global futuro. Em um destes [1], são apresentadas algumas informações importantes sobre o crescimento do número de habilitações de linhas móveis e o modo como os novos aparelhos celulares são utilizados, dentre elas:

- Os *Smartphones* serão 72% do total de dispositivos móveis em 2020;
- Os *Smartphones* serão responsáveis por 98% do tráfego de dados móveis;
- Em 2020, 75% de todo o tráfego mundial de dados será de vídeo; etc.

Devido a esta alteração no padrão de uso da telefonia celular, surgiram as NGN (*Next Generation Network*), as quais são redes inteligentes que fazem uso do protocolo IP (*Internet Protocol*) [2] substituindo o transporte de informação da forma comutada para a transmissão de dados por pacotes [3] visando a minimização dos custos das infraestruturas.

Para contribuir grandemente no aumento da capacidade e no escoamento do tráfego das NGN, a 4G Americas [4] apresenta as *Small Cells* ou conjunto de APs (*Access Points*) de baixa frequência e baixo consumo de energia, entretanto, estas arquiteturas ainda não detêm maturidade, pois as implantações de redes compostas por *Small Cells* ainda se encontram em estágios iniciais.

Nesse contexto, em [5] foi demonstrado que por razão das *Small Cells* apresentarem um perímetro menor de cobertura, comparadas as macrocélulas, vários APs devem ser alocados próximos uns dos outros ocasionando a implantação densa de tais células e [6] afirma que a falta de planejamento na implantação de ambientes densos de *Small Cells* ou *DenseNets* pode acarretar em problemas graves de interferência.

Por isso, neste trabalho, analisou-se um modelo de redução da interferência entre pequenas células dispostas em um ambiente denso usando AG (Algoritmo Genético). Este estudo se mostra importante para os profissionais de telecomunicações e é de grande valia, se realizado na fase de planejamento das redes de *Small Cells*, quando muitos dos parâmetros que devem ser considerados, ainda são desconhecidos. Os cenários foram adaptados de [7], os quais podem ser aplicados em sistemas de 5G. Além disso, foi observado o comportamento do módulo de bateria do equipamento do usuário após o uso do AG.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados alguns desafios encontrados no gerenciamento de redes densas de *Small Cells* ou *DenseNets*; na seção 3 modelou-se o problema com o uso de AGs; na seção 4 está descrito o processo de validação; a seção 5 traz todos os parâmetros usados na simulação e como a mesma foi realizada e na seção 6 foram apresentados os resultados extraídos da execução do AG através modelo matemático e da simulação.

II. DESAFIOS PARA ALCANÇAR A REDUÇÃO DE INTERFERÊNCIA

Existem vários estudos sobre interferência entre as *Small Cells* e as macrocélulas, ambiente mais conhecido como redes heterogêneas ou *HetNets*, alguns com vistas a reduzir o problema de associação de usuários com as estações base [8], outros propondo algoritmos que reduzem o nível de interferência com as macrocélulas [9], entretanto, se faz necessária uma avaliação da interferência entre as próprias *Small Cells* [10].

Dentre várias, duas situações devem ser observadas quando da criação de ambientes densos, uma refere-se a interferência de canal subjacente, enquanto a outra a de mesmo canal [11]. A primeira apresenta distorção no envio e recebimento de dados quando existe algum tipo de *Small Cell* (micro, pico, femto, atto, etc) cobrindo um mesmo perímetro utilizando bandas de frequências bem próximas; já a segunda está relacionada com a problemática do uso da mesma banda por mais de um tipo de *Small Cells* dentro de um mesmo raio de cobertura.

Quando há o reuso de banda culminando na interferência entre as *Small Cells*, o fenômeno é denominado de interferência co-canal. Este fato ocorre, em alguns momentos, de maneira tal que reduz a níveis muito baixos o SINR, inviabilizando assim qualquer tipo de troca de informações.

III. MODELAGEM DO PROBLEMA USANDO CLUSTERIZAÇÃO E ALGORITMOS GENÉTICOS

Agrupar indivíduos com características similares a fim de que alguns problemas sejam resolvidos como o aumento do desempenho no uso de potências em ambientes internos [12] ou mesmo para melhorar a capacidade do sistema relacionado a alocações de recursos para *downlink* [13] é um método que já está sendo bastante estudado e isto pode ocorrer de várias formas, dentre elas a partir de técnicas baseadas na computação evolucionária. Nos AGs, populações de indivíduos (possíveis respostas a um problema) são criadas e submetidas a operações genéticas como seleção, recombinação (*crossover*) e mutação, buscando simular a evolução biológica das espécies ao longo do tempo, a fim de obter um indivíduo ou resposta com maior aptidão para ser a solução final ao problema.

Assim, dada uma densa rede de *Small Cells* confinadas em um local fechado, o desafio de reduzir a interferência co-canal entre os próprios nós da rede é o alvo do AG apresentado neste trabalho. A figura 1 apresenta um fluxograma do algoritmo proposto:

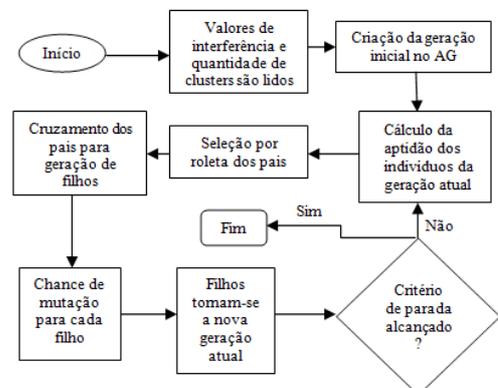


Fig 1. Sequência de procedimentos do AG

O algoritmo inicia lendo duas informações previamente modeladas em [14] e calculadas em [15], que são: as potências de interferência entre todos os nós da rede e a quantidade de *clusters* ideal para a mesma. De posse dessas duas informações, o AG presta-se a encontrar um possível arranjo dos nós dentro dos clusters de forma a reduzir a interferência e elevar o QoS geral da rede. O próximo passo é criar a geração inicial no AG. A geração inicial é composta por 20 indivíduos aleatoriamente criados, ou seja, 20 possíveis respostas ao problema. A representação de um indivíduo (cromossomo) é feita na forma de um vetor, onde o tamanho do vetor indica a quantidade de nós da rede e as subdivisões exatas ao longo do vetor representam os *clusters*. A figura 2 exemplifica um indivíduo de uma rede com 12 *Small Cells* e 3 *clusters*. Cada *Small Cell* (de 1 a 12) fica alocada à um único *cluster* (A, B, C).

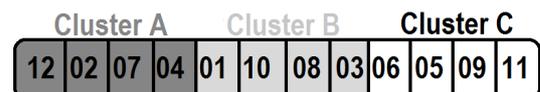


Fig 2. Indivíduo ou possível solução (cromossomo)

Logo após é feito o cálculo de aptidão de cada indivíduo, extraído pela fórmula da SINR de cada nó, conforme a fórmula descrita em (1):

$$SINR = \frac{Pot_{fonte}}{\left(\sum Pot_{interferência} * \lambda + N_0\right)} \quad (1)$$

Onde no numerador está a potência da fonte, ao passo que no denominador estão três variáveis: o somatório abrange as potências dos nós interferentes, N_0 é o valor do ruído branco do canal e λ é a densidade, que indica a porcentagem de *Small Cells* ligadas em um determinado instante. Para cada valor de SINR abaixo de um limiar L mínimo, um *cluster* é adicionado.

Para encontrar todos os valores de interferências causadas às *Small Cells*, se fez necessária a inserção, no modelo matemático, de um usuário virtual, caracterizado por um ponto espacial no cenário. Para este ponto foi calculada a potência do nó fonte e a potência de cada nó interferente, onde o valor da potência recebida é dada em (2) e seu valor é usado para calcular o valor de interferência que está em (3):

$$Pr = \frac{EIRP * Gr}{Ls} \quad (2) \quad W_{ij} = \frac{P_i}{P_j} \quad (3)$$

Em (2), no numerador temos a multiplicação entre *EIRP* que é a Potência Irradiada efetiva com respeito ao radiador isotrópico, *Gr* é o ganho das antenas dos APs e *Ls* é a perda de caminho, mais conhecido como *path loss*. Na equação (3) o W_{ij} significa a interferência que j causa em i , estes valores derivam do índice da linha ou coluna de uma matriz cujos valores são os identificadores de cada *Small Cell* no cenário, ou seja, se tivermos uma matriz 10 X 10, W_{12} significa que será calculada a interferência que a *Small Cell* de índice 2 causa na de índice 1. P_i e P_j , onde $Pr = P_i$ ou $Pr = P_j$, são as potências recebidas do sinal da fonte e de interferência, respectivamente.

A seleção é feita por *roleta*, na qual os indivíduos com maior aptidão, ou seja, melhor SINR, possuem maior chance de serem selecionados. O método de cruzamento foi o *PMX - Partially Mapped Crossover* almejando evitar redundâncias internas de *Small Cells* no cromossomo. Após isso, os filhos gerados passam por uma chance de 5% de sofrer mutação, na qual um gene aleatório é permutado com outro, a fim de gerar diversidade na população.

Ao final dessa etapa, os filhos tornam-se a nova geração atual. Caso o critério de parada seja alcançado, neste caso 1000 épocas (ciclos), o algoritmo salva a geração atual e seleciona o melhor indivíduo como resposta, do contrário, os filhos passam a ser pais e novamente a interação é realizada. O algoritmo era repetido 31 vezes, criando-se 31 cromossomos. Foram calculadas as médias destes 31 cromossomos e posteriormente as médias destes últimos 31 valores, ou seja, foi calculada uma “média das médias”. Foi extraído um intervalo de confiança destes últimos 31 valores, com margem de erro de 5%, onde dois limiares foram obtidos. Por fim, o cromossomo que tivesse a sua média, valor da SINR, mais próximo ao limite

superior do intervalo de confiança era escolhido como resposta final. O algoritmo 1 apresenta o pseudocódigo do algoritmo genético:

```

INÍCIO
  Cria população aleatória de indivíduos
  População inicial se torna a população atual
  época = 0
  critério de parada = 1000
  enquanto época < critério de parada faça
    para cada indivíduo da população atual
      Computar aptidão do indivíduo
    Seleciona pais da população atual através de roleta
    Cruzamento dos pais selecionados gerando filhos
    para cada filho gerado
      teste para possível mutação
    Filhos tornam-se geração atual
  época +1;
  fim
  Armazena o indivíduo com melhor aptidão
FIM
  
```

Algoritmo 1. Pseudo código do algoritmo genético

IV. VALIDAÇÃO

Neste momento, realizou-se a montagem de dois cenários no simulador *OPNET Modeler 17.5 a (Educational Edition)* [16] com 10.000 m² tendo 60 *Small Cells* cada. O primeiro apresentava distâncias entre as *Small Cells* de 10 metros uma a uma em linhas horizontais/verticais e no segundo, as *Small Cells* foram implantadas de maneira aleatória como pode ser verificado nas figuras 2 a) e 2 b).

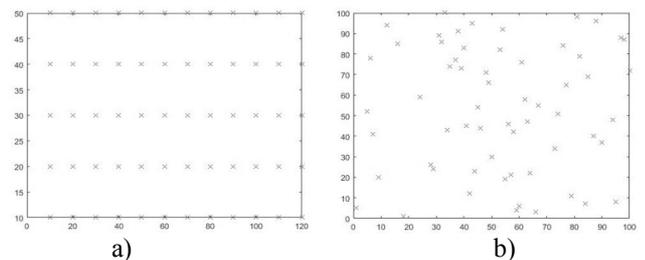


Fig. 2 60 *Small Cells* dispostas a) de 10 x 10 e b) aleatoriamente

Devido à *Release 8* do LTE (sendo esta suportada pelo simulador utilizado) ter uma extensão de uso de 60 MHz do espectro na Banda 01 da FDD (*Frequency Division Duplex*) e o modelo defendido por [15] além de fazer uso da banda citada, apresentar uma quantidade de *clusters*, 16 ou mais, para os dois cenários propostos neste trabalho, optou-se por usar somente os valores de 4 e 6 *clusters*, devido a observação de que a cada aumento na quantidade de *clusters* ocorria uma redução na eficiência espectral, pois há a redução da largura de banda usada por cada *Small Cell*. Desta forma, as larguras de bandas usadas foram 15 MHz e 10 MHz tanto para *downlink* quanto para *uplink* respectivamente, aglomerando de 10 a 15 *Small Cells* em cada *cluster*.

V. SIMULAÇÃO

Nos cenários, as cargas usadas nas simulações foram as de uma aplicação de **vídeo** de acordo com os padrões estipulados pelo 3GPP TR 25.896.

Foram acompanhados os desempenhos de 4 nós, onde cada um estava em um *cluster* quando da divisão em 4 sub bandas e considerados novamente, quando houve a divisão em 6 *clusters*, a fim de se obter resultados fiéis as possíveis alterações nos experimentos. Semelhantes posições do modelo analítico foram usadas, onde não há movimentação de estações de usuários, tampouco de *Small Cells* e o *Warm-up* imposto foi de 100 segundos. Para o acompanhamento do comportamento do modelo de bateria adotado, implementou-se no *OPNET* o modelo linear com os mesmos parâmetros de [17], onde alterações foram realizadas no bloco de função do módulo de simulação *phy*, usando a linguagem C++.

$$C = C' - I * Td \quad (4)$$

A Equação 4 descreve o modelo Linear que permite calcular a capacidade remanescente C , de uma bateria, sendo C' a capacidade da bateria no início da operação, I a corrente constante de descarga durante a operação e Td o tempo de duração da operação. A capacidade remanescente C é calculada sempre que houver alteração na corrente de descarga.

$$L = 37 + 30 \log(10)R + 18.3n \left(\frac{n+2}{n+1} - 0.46 \right) \quad (5)$$

A equação 5 onde R representa a distância em metros entre o objeto transmissor e o receptor e n o número de andares do local, neste caso zero (0), apresenta o modelo matemático *Indoor Office Environment* ITU-R M.1225 [18] de perda de propagação para os ambientes internos simulados neste trabalho, considerando que os mesmos derivam da representação de um hospital com 120 X 120 metros [7], entretanto, agora tem-se um ambiente interno com 100 X 100 metros.

VI. RESULTADOS

Primeiramente serão apresentados os resultados oriundos do modelo matemático construído no *MATLAB* os quais apresentam os valores da SINR antes e depois da clusterização e posteriormente serão apresentados os resultados que pretendem validar o trabalho. Os experimentos foram realizados em 4 dispositivos computacionais com 2 GHz de processamento, 4 MB de memória cache e 8 GB de memória RAM.

Em um primeiro momento, quando não havia qualquer divisão por *cluster*, nenhum nó usuário conseguia realizar comunicação com o servidor da aplicação, devido a alta taxa de interferência, porém, nos resultados apresentados pelas figuras 3 e 4 observa-se que o modelo proposto proporcionou um aumento significativo no valor da SINR para mais de 80% dos APs que estavam alocados em cada cenário.

A. Cenário fixo

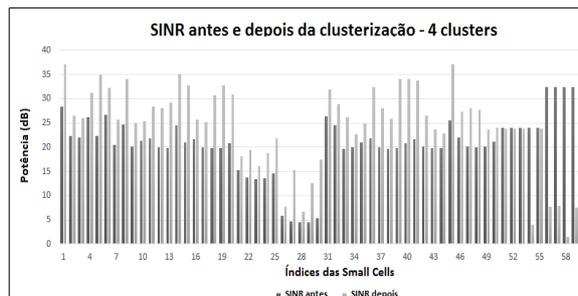


Fig. 3 Comparação do valor do SINR - 10 x 10 metros – 4 clusters

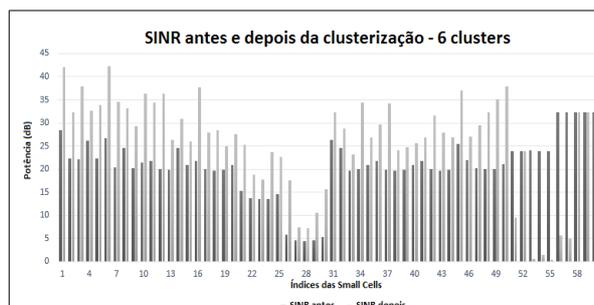


Fig. 4 Comparação do valor do SINR - 10 x 10 metros – 6 clusters

Observou-se que enquanto o cenário estava dividido em 4 clusters, algumas *Small Cells* atingiam um valor máximo de vazão em momentos diferentes, como mostrado na figura 5, entretanto, quando elas foram divididas em 6 *clusters*, os APs tinham praticamente o mesmo comportamento, conforme observado na figura 6, fato que contribui para o aumento do desempenho dos serviços oferecidos pelas *Small Cells*.

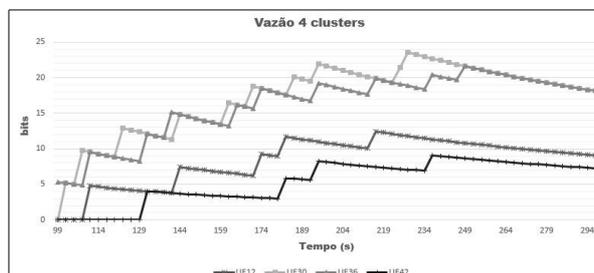


Fig. 5 Vazão com 4 clusters – 10 x 10 metros

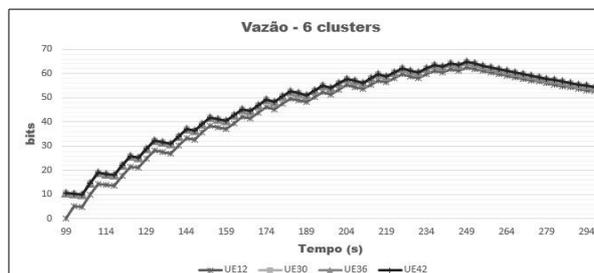


Fig. 6 Vazão com 6 clusters – 10 x 10 metros

Uma acentuada perda de pacotes foi percebida durante os 5 minutos de simulação com divisão em 4 sub bandas diferentes,

fato este que não ocorreu com a divisão em 6 *clusters*, na qual a perda de pacotes no instante do recebimento é bem menor, proporcionando maior qualidade de serviço digital ao assinante. O AG reduziu o atraso em mais de 33% no instante do recebimento dos dados.

O módulo de bateria linear apresentou uma taxa de redução da carga para os dois momentos, divisão em 4 e 6 sub bandas, com bastante equivalência, pois para o modelo de divisão em 4 *clusters* houve o pico de consumo de 0,46 mW para o nó 27, enquanto que na divisão em 6 *clusters* foi de 0,42 mW para os nós 57 e 27 no intervalo dos 5 minutos de simulação.

B. Cenário aleatório

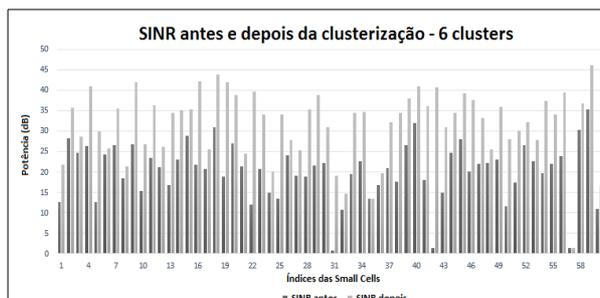


Fig. 7 Valor do SINR - distâncias aleatórias – 6 clusters

Na representação do cenário de forma aleatória, dados semelhantes, relacionados à SINR, foram encontrados. Observou-se um aumento para este parâmetro em quase todas as *Small Cells* onde o maior pico foi conquistado com a divisão em 6 clusters, figura 7, onde alcançou valor acima de 45 dB, contra aproximadamente 35 dB do cenário sem clusterização.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou contribuir com a mitigação de interferência em redes de *Small Cells* altamente densificadas, isto é, buscou-se a redução da interferência co-canal através de uma meta-heurística, onde observou-se melhorias acima de 80% nos valores de SINR com a aplicação de algoritmos genéticos a fim de dividir os APs em *clusters* que utilizam sub bandas diferentes para o tráfego das informações dos assinantes.

O AG também proporcionou um aumento significativo nos parâmetros de QoS dos cenários, onde pode-se observar que não houve somente a melhoria dos parâmetros de um único AP, mas um aumento na qualidade nos serviços oferecidos aos assinantes em uma grande parte do conjunto completo das *Small Cells* e este fato não onerou o consumo de carga de bateria dos equipamentos dos usuários. Para pesquisas futuras propõem-se a utilização de cargas diferentes e densidades diferentes, além disso, encontra-se em desenvolvimento um módulo de bateria não linear.

REFERÊNCIAS

[1] Cisco (2016) “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020”. <http://www.cisco.com/c/en/us/>

solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf.

[2] Tuna, G., Kiokos G. C., Zountouridou, E. I. Gungorm and V. C. (2015) “Next Generation Networks for Telecommunications Operators Providing Services to Transnational Smart Grid Operators”. In Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 2015 12th International Conference, pages 231 – 238.

[3] Wilkinson, Neil (2002) “Next Generation Network Services: Technologies & Strategies”. John Wiley & Sons, 2nd Edition.

[4] 4G Americas (2015) “LTE and 5G Innovation: Igniting Mobile Broadband”. http://www.4gamericas.org/files/9214/3991/2167/4G_Americas_Rysavy_Research_LTE_and_5G_Innovation_white_paper.pdf.

[5] Finn D, Ahmadi H, Razavi R, Claussen H and Da Silva L. (2015) Energy and Spectral Efficiency Gains From Multi-User MIMO-based Small Cell Reassignments In GLOBECOM (2015).

[6] Huang J, Zhang H, Xu W and Zhang H. (2013) Grouping Based Inter-Cell Interference Coordination in LTE-A Dense Small-Cell Networks. In Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE), 2013 IEEE 5th International Symposium, pages 78 – 83.

[7] Alshami, M., Arslan, T. and Thompson, J. (2014) “Small Cell Interference and Probability of Connection in different Areas and Various SINR Threshold Values at Downlink”. In International Journal of Computing and Digital Systems.

[8] BenMimoune, A., Khasawneh, F. A. and Kadoch M. (2015) “User Association for HetNet Small Cell Network”. In Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference, pages 113-117.

[9] Cristian, A. and Tudor, P. (2012) “Characterisation Of Small Cells Networks Deployment Options And Their Impact Upon Macro-Celular Networks”. In Acta Technica Napocensis. Electronica-Telecomunicatii, 2012, Vol. 53, pages 15-20.

[10] Mutairi, A. and Roy, S., (2015) “Impact of Traffic Load on OFDMA Small Cells Interference Mitigation”. IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 33, No. 10, October 2015.

[11] Sbit, S., Dadi, M. B. and Chibani, B. (2015) “Co and Adjacent Channel Interference Evaluation in GSM and UMTS Cellular Networks”. In International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 4, Issue 11, November 2015.

[12] Mohjazi L. S., Al-Qutayri M. A., Barada H. R., Poon K. F. Shubair and R. M. (2012) “Self-Optimization of Pilot Power in Enterprise Small Cells Using Multi objective Heuristic”. In Journal of Computer Networks and Communications, 2012, vol. 2012.

[13] Fan, S., Zheng and Xiao, J. (2015) “A clustering-based downlink resource allocation algorithm for small cell networks.”. In Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2015 WCSP, pages 1-5.

[14] Li, W., SU, T., ZHENG, W. and WEN, X. (2010) “Clustering Based Resource Allocation for Inter-Small Cell Interference Management”. In International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 IEEE 6th , pages 1–5, 23-25.

[15] Araújo, W. V., Silva, M. S., Francês, C. R. L. and Cardoso, D. L. (2015) “Análise de um modelo de clusterização para minimização de interferência entre femtocélulas co-canais: uma abordagem baseada em simulação”. In Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 47 ed.

[16] OPNET (2016). Network Simulation (OPNET Modeler Suite). http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/.

[17] Inoue, H. H. (2013) “Modificação de módulos de simulação para suporte à implementação de modelos analíticos de bateria em um equipamento LTE no OPNET”. Universidade Federal do Pará, Belém.

[18] Recommendation ITU-R M.1225. GUIDELINES FOR EVALUATION OF RADIO TRANSMISSION TECHNOLOGIES FOR IMT-2000. Pg. 26.