

Algoritmo Genético para Handover em Redes Heterogêneas Móveis

Daniel da S. Souza, Rafael F. Vieira, Marcos C. da R. Seruffo e Diego L. Cardoso

Resumo—O conceito de Handover (HO) foi elaborado com o intuito de facilitar a mobilidade dos usuários e garantir a qualidade de serviço em redes móveis. Este artigo apresenta uma Heurística para HO baseada em Algoritmo Genético (AG) (H^2AG) levando em consideração parâmetros que impactam diretamente no processo de HO em Redes Heterogêneas. A estratégia de HO proposta visa minimizar o número de HO ping-pong (HPP) e Falhas de HO (HO Failure - HF). Através desta proposta, foi possível definir o melhor momento e, em conjunto, a melhor Estação Base (BS - Base Station) para realizar o HO. Resultados demonstram uma diminuição de até 83% na falha de HO, métrica largamente utilizada na literatura para avaliar políticas de HO.

Palavras-Chave—Handover, Algoritmo Genético, Redes móveis, Redes Heterogêneas.

Abstract—The Handover (HO) concept was developed to facilitate the mobility of users and guarantee the quality of service on mobile networks. This article presents a Heuristic for HO based on Genetic Algorithm (GA) (H^2AG) taking into account parameters that directly impact the HO process in heterogeneous network. The proposed HO strategy aims to minimize the number of HO ping-pong (HPP) and HO Failures (HF). Through this proposal, it was possible to define the best time and, together, the best Base Station (BS) to perform the HO. Results demonstrate a decrease of up to 83% in HO failure, a metric widely used in the literature to evaluate HO policies.

Keywords—Handover, Genetic Algorithm, Mobile Networks, Heterogeneous Networks.

I. INTRODUÇÃO

Em 2022, o tráfego global em redes móveis alcançará a marca de 1 zettabyte anual, representando aproximadamente 113 vezes superior ao tráfego móvel global gerado nos últimos dez anos, em 2012 [1]. A prospecção da quantidade de tráfego se torna uma questão de planejamento importante para as operadoras de redes celulares do mercado [2]. Em outras palavras, a obtenção de altas taxas de dados e *Quality of Service* (QoS) aliados a um menor custo são as principais questões de preocupação para os operadores das redes móveis.

Com o intuito de conseguir suportar este volume de tráfego, foram propostas diferentes estratégias na literatura e já aplicadas no dia-a-dia, entre estas destaca-se a densificação da rede móvel por meio da instalação conjunta e massiva de Estações Bases (BS) como: *Macrocells* e *Smallcells* (*SCeNBs*), tendo assim o conceito de Redes Heterogêneas (HetNets) [3].

Daniel da S. Souza, Rafael F. Vieira, Marcos C. da R. Seruffo e Diego L. Cardoso, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Instituto de Tecnologia (ITEC), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, e-mail: danielssouza, seruffo, diego(@ufpa.br), rafaelfogarolli@outlook.com; Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

As *SCeNBs* fornecem um aumento na cobertura e auxiliam na descarga das *Macrocells*, aliviando assim, a rede móvel que não foi projetada inicialmente para o alto tráfego de dados.

A densificação dos cenários de Redes Móveis torna o processo de realização de Handovers (HO) extremamente difícil de gerenciar. O LTE-Advanced, desenvolvido pelo 3GPP [4], suporta velocidades dos dispositivos dos usuários (*User Equipment* - UEs) de até 139 m/s, o que influencia na precisão, na eficiência das redes móveis e consequentemente na realização do processo de HO.

O HO é um procedimento que permite ao UE conectado à uma BS transira-se para a próxima BS sem desconexão da sessão [5]. Percebe-se, então, que o procedimento de HO deve ser rápido e a transferência de dados não deve ser atrasada e/ou perdida [7], [6]. Assim, atender estes requisitos de conexão ao desenvolver estratégias de HO, se torna o principal objetivo a ser alcançado, visando garantir a *Quality of Experience* (QoE) aos usuários.

Uma estratégia de HO eficaz torna a experiência do usuário agradável, levando em consideração as métricas da rede e da velocidade que o usuário se movimenta. Dentro do processo de mudança de BS, o efeito de HO ping-pong (HPP) e as Falhas de Handover (*HO Failure* - HF) são as principais causas de um QoE considerado ruim. O efeito de HPP ocorre quando o UE alterna repetidamente entre dois nós de acesso (BS 1 e BS 2, por exemplo) em um pequeno intervalo de tempo, o que pode reduzir a qualidade da conexão do usuário e aumentar o número de HOs que, por sua vez, aumenta a carga da rede, o que afeta o seu desempenho e influencia na tentativa de HO dos demais usuários. O segundo fator no processo de HO, as HF, ocorrem quando a BS de serviço envia um comando HO para o equipamento do usuário, e se o UE não receber o comando HO, ocorre assim uma falha de HO e o UE é desconectado da rede. Isso resulta em interrupção de serviço e afeta a experiência do usuário, além de sobrecarga de sinalização adicional e desperdício de recursos de rede [8].

Considerando o ante exposto, neste trabalho uma Heurística para HO baseada em Algoritmo Genético (AG) (H^2AG) é apresentada, usando método de otimização bioinspirado para definição de conexão dos usuários em um processo de HO. A Estratégia de HO visa minimizar o número de HPP e HF. São apresentados como resultados a quantidade de taxa de HF, taxa de HPP e taxa de HO bem-sucedidos.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção II apresenta os artigos correlatos da literatura e o diferencial desta proposta com as encontradas no estado da arte. A Seção III mostra a formulação do problema e a heurística proposta. A Seção IV apresenta os critérios e

a metodologia utilizada para avaliação de desempenho do sistema. A Seção V analisa os resultados obtidos a partir das simulações realizadas. Finalmente, a Seção VI relata as Considerações Finais.

II. TRABALHOS CORRELATOS

Algoritmos de decisão de HO propostos na literatura podem ser classificados em três grandes categorias. A primeira categoria é baseada na estratégia tradicional de usar um índice de desempenho no processo de tomada de decisão, tal como o RSRP (*Reference Signal Received Power*), este índice pode ser utilizado sozinho ou em uma combinação de parâmetros da rede móvel. A segunda categoria envolve a utilização de Métodos de Tomada de Decisão Multicritério (atributos e/ou objetivos) no processo de decisão de HO. A terceira e última categoria utiliza técnicas de Inteligência Computacional. Sendo que em muitos trabalhos essas categorias podem se relacionar, como será mostrado a seguir.

No trabalho de [9] é proposto um algoritmo de HO de múltiplos critérios que seleciona a melhor rede disponível em um cenário de HetNets, com valores otimizados dos parâmetros de latência, custo da rede e a quantidade de HO desnecessários a ser minimizado. A decisão de HO é formulada como um problema de otimização multiobjetivo, e solucionado usando AG. O resultado da simulação mostra que o número de HOs podem ser minimizado considerando os valores otimizados dos parâmetros de rede.

Em [10] o foco é voltado para encontrar os valores ótimos de *Time-To-Trigger* e histerese, parâmetros estes que influenciam na quantidade de HOs desnecessários, HPP, HOs prematuros e HOs tardios. Para tal, é utilizado os métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) ao considerar o RSRP, RSRQ (*Reference Signal Received Quality*), carga atual da BS, SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), movimentação e localização dos UEs. Apesar de utilizar diversos parâmetros para tomada de decisão de HO o trabalho não utiliza velocidade aleatória dos UEs nos cenários simulados, característica relevante e de grande importância no processo de HO.

O algoritmo FMCCS (*Fuzzy Multiple-Criteria Cell Selection*) de [11] faz a utilização do Fuzzy-TOPSIS, onde as pontuações das alternativas e os pesos dos critérios de decisão são definidos como variáveis linguísticas. O FMCCS é um esquema de otimização de HO para escolha das melhores *Macrocells* levando em consideração a movimentação do usuário enquanto mantém seu requisito de QoS. O trabalho deixa como lacuna a falta de *SCeNBs* e de uma mobilidade dos UEs de fato randômica como em cenários reais.

O processo de HO afeta diretamente as métricas de QoS/QoE em redes móveis, afirmação discutida e trabalhada em [12]. Neste artigo é apresentado o algoritmo SER (*Service, Experience e Radio*) que faz a utilização do AHP para classificar as BSs em um cenário HetNets com foco na entrega de conteúdo de vídeo levando em consideração métricas de QoS/QoE. Com base nos resultados da simulação, o algoritmo SER entrega vídeos com QoE 12% melhor do

que os algoritmos clássicos analisados. O trabalho deixa de utilizar em seus resultados a comparação do mesmo com novas estratégias de HO propostas na literatura, assim como analisar a HPP e HF.

Em [13] é apresentada uma Heurística para HO baseada em AHP-TOPSIS-FUZZY (H^2ATF), a qual utiliza uma análise multicritério para definição de BSs em um processo de HO em cenários de HetNets. A abordagem aplica o método AHP para definição dos pesos dos critérios, assim como do TOPSIS para ranquear as BSs candidatas para HO, tendo como parâmetros a velocidade do usuário, RSRP, RSRQ e o SINR; o valor de histerese é calculado através de um modelo de inferência Fuzzy, para definir valores dinâmicos que favorecem a BS atual e evitar o HPP. São apresentados como resultados uma baixa quantidade de HPP em relação aos algoritmos comparados, mas uma alta taxa de HF.

De forma geral, os artigos listados mostram o uso parcial das características utilizadas nesta proposta, sendo estas: (i) uso de métodos de decisão, tais como o uso do AG; (ii) redução na quantidade HPP e HF; e (iii) cenário de HetNets com velocidade aleatória. Assim, este trabalho se diferencia dos demais por considerar as principais características que são apontadas como importantes no estado da arte.

III. DESIGN DA PROPOSTA

Nesta seção, a formulação da problemática de HO usando AG é apresentada. Primeiramente, com intuito de esclarecer os princípios do procedimento de HO convencional, é descrito de forma geral à tomada de decisão de HO.

A. Processo Convencional de Handover

Como detalhado em [14] é possível caracterizar o HO em três fases: inicialização, decisão e execução. Os dados relacionados às BSs e aos usuários são coletados na fase inicial do processo. A fase de decisão utiliza-se de forma tradicional o RSRP como parâmetro fundamental de comparação entre as BSs [17], como mostrado na Equação 1:

$$RSRP_{alvo} > RSRP_{atual} + \Delta_{HM} \quad (1)$$

onde o $RSRP_{alvo}$ e $RSRP_{atual}$ são os valores de potência da BS alvo e da BS atual, respectivamente; e Δ_{HM} (histerese). Quando essa condição é satisfeita, uma nova conexão é estabelecida com a BS alvo, finalizando assim a execução do HO.

A ilustração A da Figura 1 apresenta um cenário típico de redes móveis, onde neste exemplo há três BS e os diversos usuários dispostos em uma área urbana, destacando-se as diversas formas de locomoção dos mesmos, possuindo diferentes velocidades.

Para exemplificar o funcionamento do processo de HO, na ilustração B da Figura 1 há duas *SCeNBs* (BS 01 e 02) e uma *Macrocell* (BS 03), o UE se desloca para área de intersecção de cobertura entre as BSs 01 e 02. A BS com cobertura representada pela cor verde escuro é a BS atual, enquanto a BS com cobertura exibida pela cor verde claro é a melhor BS alvo eleita pelo algoritmo para realização do processo de HO em

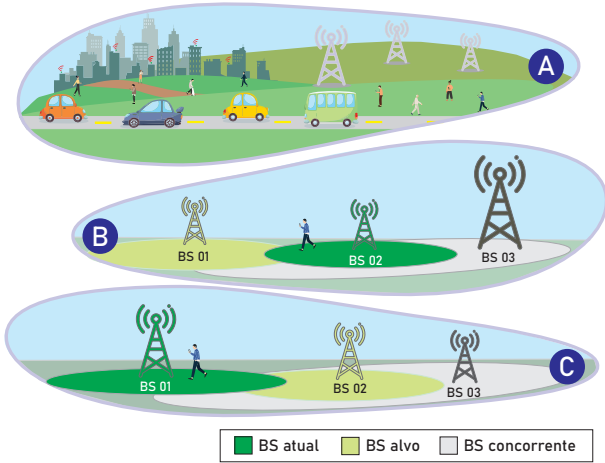


Fig. 1. Exemplo do processo de HO em um cenário de Redes Móveis.

um próximo momento. Nota-se que, em um primeiro momento (Figura 1.B) o usuário está conectado consumindo dados da BS 02. Em um segundo momento (Figura 1.C) é realizado novamente a coleta dos dados sendo que BS 01 passa a ser a BS atual.

B. Algoritmo Genético aplicado ao Handover

Os algoritmos bioinspirados baseiam-se em técnicas de computação inspiradas na natureza, onde o objetivo é desenvolver instrumentos computacionais para resolver problemas de otimização. Nos últimos anos, os métodos meta-heurísticos têm sido amplamente utilizados. O AG é um método clássico de otimização que tem sido utilizado em diversas áreas de pesquisa, tais como em [9], [15], [16].

Esta técnica foi introduzida por John Holland na década de 1960 e consolidada em 1975 com o estudo dos processos evolutivos [18]. Holland se inspirou na teoria da evolução e no processo de seleção natural proposta por Charles Darwin e em operadores genéticos, tais como a seleção, mutação e o cruzamento [19].

A estratégia considera um cenário de redes móveis em que as BS são densamente implantadas. As métricas presentes no cenário deste trabalho para escolha da BS alvo para conexão são o RSRP, RSRQ, SINR, velocidade do usuário e taxa dados. Um conjunto de BS candidatas indicado por $S = S_1, S_2, \dots, S$ é considerado no cenário. Considera-se que existem U usuários solicitando cobertura da rede. Cada usuário u , onde $u \in U$, necessita de uma taxa de dados mínima para conexão à determinada BS selecionada pelo algoritmo.

O primeiro passo para resolver o problema é inicializar a população. Considera-se que uma solução é um vetor, de U posições, onde cada posição representa um usuário e a BS com canal disponível que aquele usuário vai tentar se conectar. A população é inicializada de forma aleatória através de uma distribuição de probabilidade linear.

$$FO = \text{Min} \sum_{i \in S} HPP + \sum_{i \in S} HF \quad (2)$$

A avaliação da solução é feita através da Equação 2, onde a Função Objetivo (FO) do modelo consiste em minimizar a

quantidade de HPP e HF. A sequência de operações que formam a base do AG e do H²AG é mostrada na Figura 2.

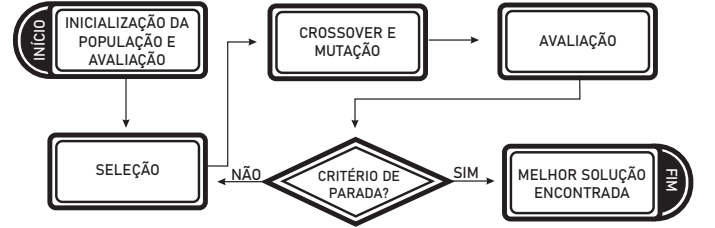


Fig. 2. Fluxograma do Algoritmo Genético.

Os parâmetros utilizados no AG são apresentados na Tabela I e foram escolhidos de forma empírica, através de exaustivos testes.

TABELA I
PARÂMETROS DO AG

Parâmetros	Valor
Número de Gerações	200
Tamanho da População	60
Taxa de crossover	0.8
Taxa de mutação	0.1
Seleção	Roleta
Condição de parada	Número de Gerações

IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Nesta seção são discutidas as métricas avaliadas e os cenários de simulação, com os parâmetros adotados na modelagem proposta.

A. Métricas de Avaliação

As métricas de avaliação utilizadas foram: taxa de HF, taxa de HPP e taxa de HO Bem Sucedidos. A taxa de HF é o número de HOs falhos em relação ao número total de HOs (HF, HPP e HOs bem sucedidos). A taxa de HF é representada na Equação 3:

$$HF(\%) = \frac{N_{HF}}{N_{TotaldeHandovers}} \quad (3)$$

Quando um UE faz o HO da sua BS atual para outra, e antes que um determinado período de tempo termine, o UE volta a conectar na mesma BS anterior, esse HO é contabilizado como HPP. A taxa de HPP é a quantidade de HPP em relação a quantidade total de HOs. A Equação 4 demonstra a taxa de HPP.

$$HPP(\%) = \frac{N_{HPP}}{N_{TotaldeHandovers}} \quad (4)$$

A taxa de HO é a quantidade de HO bem sucedidos em relação a quantidade total de HOs. A Equação 5 demonstra a taxa de HO bem sucedidos.

$$HO(\%) = \frac{N_{HO}}{N_{TotaldeHandovers}} \quad (5)$$

B. Cenários de Simulação

Uma vez definida as métricas de avaliação de desempenho, foi realizada uma simulação com diferentes quantidades de *SCeNBs* de modo a representar cenários densos de HetNets, com o intuito de verificar a eficiência da Heurística proposta.

Utilizou-se o SUI (*Stanford University Interim*), terreno A, como modelo de propagação para as *SCeNBs* e *Macrocells*, com base em [20]. A velocidade adotada pelos usuários pode variar de 0 a 80 km/h, de forma a caracterizar os diversos perfis de usuários (Devagar (1 a 4 m/s), Moderado (2 a 14 m/s) e Alta velocidade (10,5 a 22,2 m/s)). A Simulação foi feita no Matlab 2017b, e os parâmetros essenciais dos cenários são apresentados na Tabela II.

TABELA II
PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO [13].

Parâmetros	MacroCell	SCeNBs
Quantidade	2	50, 100, 150 e 200
Potência de transmissão	43 dBm	33 dBm
Banda	20Mhz	18Mhz
Frequência	3.5Ghz	2.4Ghz
Alcance	700 m	150 m

A quantidade de *Macrocells* para os cenários de testes é fixa, assim como a potência de transmissão, banda e frequência das duas *BSs*, sendo respectivamente: 43 dBm, 20 Mhz e 3.5 Ghz. A diferença de cada cenário é na quantidade de *SCeNBs* (50, 100, 150 e 200) que busca avaliar o comportamento da estratégia em cenários com diferentes percentuais de densificação de *SCeNBs*. O alcance das *BSs* é levando em consideração na estratégia de HO proposta, tendo as *Macrocells* alcance de 700m e as *SCeNBs* de 150m, sendo esta variável a responsável por selecionar as *BSs* geograficamente próximas dos usuários.

O cenário proposto possui um tamanho de 1000m x 1000m onde o posicionamento das *SCeNBs* é feito de forma fixa e as *Macrocells* são posicionadas de modo a oferecer uma maior cobertura da área estipulada. A disposição dos usuários, um total de 300 para todos os cenários, é feita de forma randômica no início da simulação, sendo o deslocamento dos usuários feito de acordo com o modelo de mobilidade *Random Way-point* [21]. Foram feitas 30 iterações (para cada cenário), de forma que os resultados apresentassem uma medida estatística aceitável.

V. RESULTADOS

O algoritmo H^2AG foi comparado com o algoritmo H^2ATF , a fim de demonstrar a eficiência da proposta. O algoritmo H^2ATF faz o uso de métodos analíticos de tomada de decisão associado com uma histerese dinâmica proveniente do uso da lógica Fuzzy, sendo ideal para analisar números de taxa de HO, taxa de HPP e taxa de HF, e como mostrado em seu artigo original [13] o algoritmo teve um desempenho superior a outras técnicas clássicas da literatura e novas propostas correlacionadas em cenário heterogêneos.

A Figura 3 apresenta a taxa de HF nos cenários simulados. A taxa de HF do H^2AG é menor se comparado com o H^2ATF em todos os cenários. Com o aumento da quantidade de *SCeNBs* nos diferentes cenários é esperado que ocorra

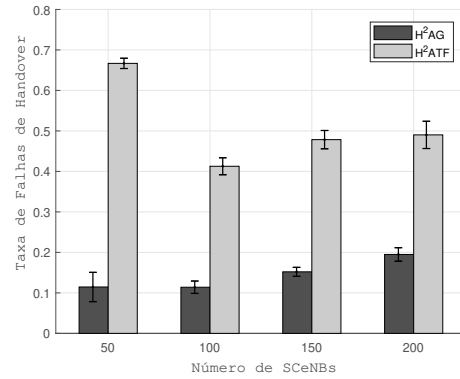


Fig. 3. Taxa de HF em cenários com diferentes quantidades de *SCeNBs*.

uma interferência maior, levando assim a quedas no SINR, justificando o aumento de falhas dos algoritmos nos diferentes cenários. A grande quantidade de falhas do H^2ATF no cenário de 50 *SCeNBs* ocorreu devido a grande quantidade de usuários para o menor cenário, sendo observado resultados melhores nos cenários com maiores números de *SCeNBs*. Tal comportamento não ocorreu com o H^2AG , pois o mesmo tem como Função Objetivo minimizar a quantidade de HF, selecionando ao final a geração com o vetor de usuários e suas respectivas *BS* com um menor número de falhas, ou seja com um maior número de usuários conectados. O H^2AG possui um melhor desempenho de 83%, 73%, 69% e 60% se comparado a outra estratégia nos cenários de 50, 100, 150 e 200 *SCeNBs*, respectivamente.

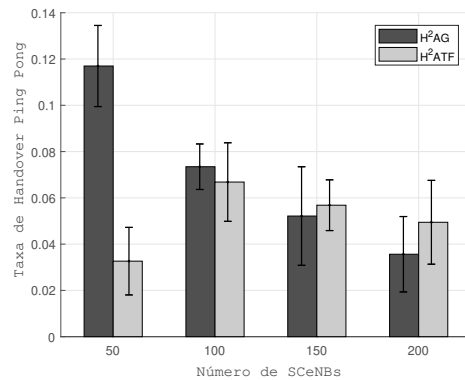


Fig. 4. Taxa de HPP em cenários com diferentes quantidades de *SCeNBs*.

A Figura 4 apresenta a taxa de HPP nos cenários simulados. A taxa de HPP do H^2AG não se mostra muito diferente ao ser comparado com o H^2ATF em todos os cenários, exceto no cenário com 50 *SCeNBs*. Apesar da taxa de HPP do algoritmo H^2AG ser um pouco maior que 0.1 neste cenário, o melhor desempenho do algoritmo H^2ATF se justifica pelo fato do mesmo possuir como foco a diminuição da taxa de HPP por ter um histerese dinâmica para evitar o efeito de HPP. O H^2AG possui o desempenho de 8% e 28% melhor nos cenários mais densos de 150 e 200 *SCeNBs*, respectivamente. Já nos cenários menos densos o desempenho inferior foi de 62% e 9% se comparado a outra estratégia nos cenários de 50 e 100,

respectivamente.

Além disso, em relação ao desempenho resultante da simulação e considerando os resultados apresentados nas Figuras 4 e 3, o comportamento acima mencionado também é apresentado por [10], que descreve o *trade-off* entre o HPP e as HF como algo esperado. O esquema proposto minimizou a taxa de falhas e apresentou maior taxa de HPP do que outro algoritmo competitivo usando parâmetros específicos em alguns cenários. Embora H²AG tenha mostrado resultados mais altos de HPP, é importante destacar outros parâmetros de rede que os trabalhos relacionados não enfatizam em seus resultados, tal como o número de HOs bem sucedidos.

Com a função objetivo de minimizar a quantidade de HF e HPP, a quantidade de HO bem sucedidos é diretamente influenciada. A Figura 5 apresenta a taxa de HOs bem sucedidos nos cenários simulados. A taxa de HOs bem sucedidos do H²AG é maior se comparado com o H²ATF em todos os cenários. O algoritmo proposto apresenta uma taxa maior ao ser comparado com o algoritmo H²ATF graças ao funcionamento do algoritmo genético de tentar encontrar as melhores conexões, evitando assim HF e perda de conexão por parte dos usuários. O H²AG possui um desempenho melhor de 61%, 36%, 62% e 40% se comparado a outra estratégia nos cenários de 50, 100, 150 e 200 *SCeNBs*.

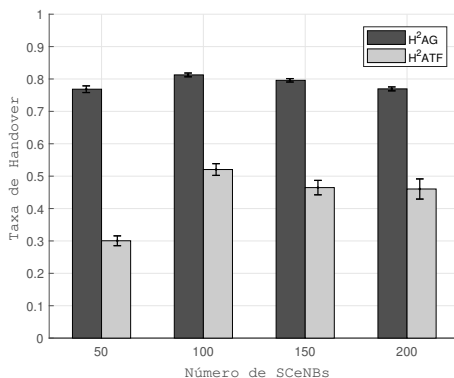


Fig. 5. Taxa de HO em cenários com diferentes quantidades de *SCeNBs*.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentada uma heurística para minimização de HPP e HF em redes móveis heterogêneas. O H²AG apresentou melhores resultados em relação a taxa de HF de até 83% se comparado com o H²ATF e resultados similares na Taxa HPP. É importante ressaltar que a heurística proposta é genérica e flexível, permitindo incorporar outros parâmetros e tecnologias não especificadas neste artigo. Proporcionando, assim, novos conjuntos de decisões para diversas outras possibilidades de cenários.

Como trabalhos futuros pretende-se utilizar novos parâmetros para decisão, como direção, carga da *BS* e tipo de fluxo. Além disso, poderá ser considerada outra arquitetura de redes móveis, além de novas técnicas de inteligência computacional, tais como: agrupamento e Fuzzy evolucionário; para que o processo de tomada de decisão possa ser ainda mais otimizado.

REFERÊNCIAS

- [1] Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper, 2020.
- [2] Xenakis, Dionysis, N. Passas, and C. Verikoukis. "An energy-centric handover decision algorithm for the integrated LTE macrocell–femtocell network." *Computer Communications* 35.14: 1684-1694, 2012.
- [3] Tang, Jie, et al. "Resource allocation for energy efficiency optimization in heterogeneous networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 33.10: 2104-2117, 2015.
- [4] TR 25.931 V14.0.0., UTRAN functions, examples on signalling procedures (Release 14). Disponível em: <http://www.3gpp.org/DynaReport/25931.html>. 2017.
- [5] Miyim, A. M., Mahamod Ismail, and Rosdiadee Nordin. "Vertical handover solutions over LTE-advanced wireless networks: An overview." *Wireless personal communications* 77.4: 3051-3079, 2014.
- [6] Márquez-Barja, Johann, et al. "An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools." *Computer communications* 34.8: 985-997, 2011.
- [7] Shayea, Ibraheem, M. Ismail, and R. Nordin. "Advanced handover techniques in LTE-Advanced system." 2012 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE). IEEE, 2012.
- [8] Adachi, Koichi, et al. "A distributed resource reservation scheme for handover failure reduction." *IEEE Wireless Communications Letters* 4.5: 537-540, 2015.
- [9] Chandralekha, Praffula Behera, and K. B. Praffula. "Minimization of number of handoff using genetic algorithm in heterogeneous wireless networks." *International Journal of Latest Trends in Computing* 1.2: 24-28, 2010.
- [10] Goyal, Tanu, and Sakshi Kaushal. "Handover optimization scheme for LTE-Advance networks based on AHP-TOPSIS and Q-learning." *Computer Communications* 133: 67-76, 2019.
- [11] Hussein, Yaseein Soubhi, et al. "A novel cell-selection optimization handover for long-term evolution (LTE) macrocellusing fuzzy TOPSIS." *Computer Communications* 73: 22-33, 2016.
- [12] Medeiros, I., Pacheco, L., Rosário, D., Both, C., Nobre, J., Cerqueira, E., Granville, L. Quality of experience and quality of service-aware handover for video transmission in heterogeneous networks. *International Journal of Network Management*, e2064, 2019.
- [13] D. da S. Souza, R. F. Vieira, M. C. da R. Seruffo e D. L. Cardoso. "A Novel Heuristic for Handover Priority in Mobile Heterogeneous Networks." *IEEE Access*, 2019.
- [14] Zhou, Yuzhe, and Bo Ai. "Handover schemes and algorithms of high-speed mobile environment: A survey." *Computer Communications* 47: 1-15, 2014.
- [15] Jatoth, Chandrashekar, G. R. Gangadharan, and Rajkumar Buyya. "Optimal fitness aware cloud service composition using an adaptive genotypes evolution based genetic algorithm." *Future Generation Computer Systems* 94: 185-198, 2019.
- [16] Zhi, Hui, and Sanyang Liu. "Face recognition based on genetic algorithm." *Journal of Visual Communication and Image Representation* 58:495-502, 2019.
- [17] Dimou, Konstantinos, et al. "Handover within 3GPP LTE: Design principles and performance." 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall. IEEE, 2009.
- [18] Holland, J. H. "An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence." *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. First Edition, The University of Michigan, USA, 1975.
- [19] Man, Kim-Fung, Kit-Sang Tang, and Sam Kwong. "Genetic algorithms: concepts and applications [in engineering design]." *IEEE transactions on Industrial Electronics* 43.5: 519-534, 1996.
- [20] Hari, K. V. S., Baum, D. S., Rustako, A. J., Roman, R. S., Trinkwon, D. . Channel models for fixed wireless applications. IEEE 802.16 Broadband wireless access working group, 2003.
- [21] Hyytiä, Esa, and Jorma Virtamo. "Random waypoint mobility model in cellular networks." *Wireless Networks* 13.2: 177-188, 2007.