

# Utilização de Algoritmo Genético no Gerenciamento de Localização para Otimização de Redes LTE

Lidiano A. N. Oliveira, Marcelo S. Alencar e Waslon T. A. Lopes

**Resumo**— Um objetivo importante no planejamento celular é o gerenciamento de localização eficiente, pois influencia diretamente a utilização dos recursos de sinalização e processamento. A rede *Long Term Evolution* (LTE) possui uma maior flexibilidade na configuração da rede visando a redução do uso desses recursos. Porém, ocasiona um aumento na complexidade da busca de uma solução ótima. Este artigo apresenta uma nova adaptação dos Algoritmos Genéticos (AG) para otimização dos custos de sinalização decorrentes dos procedimentos de gerenciamento de localização. Os resultados obtidos mostram que as soluções encontradas para redes LTE são melhores do que as obtidas utilizando a abordagem tradicional.

**Palavras-Chave**— Gerenciamento de mobilidade, algoritmo genético, redes LTE.

**Abstract**— An efficient location management is one of the key issue in mobile cellular planning and directly affects the cost of signaling and load resources. LTE (Long Term Evolution) networks offers a flexible network configuration aiming to reduce the cost. However, increase the complexity to search for the optimal solution. This paper presents a new approach for mobile location management based on genetic algorithms (GA) to reduce signaling cost from location management procedures. The results obtained show that the solutions found are better than those obtained using the traditional scheme.

**Keywords**— Mobility management, genetic algorithm, LTE network.

## I. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos mais relevantes no estudo de mobilidade em uma rede celular é o impacto do uso de recursos de sinalização necessários para localizar uma Estação Móvel (EM)[1]. O objetivo do gerenciamento de localização é manter atualizada as posições das EMs de forma que os usuários recebam chamadas de voz ou dados em qualquer momento. O custo dessa sinalização depende de diversos fatores, tais como a mobilidade do usuário (como sua velocidade e percurso) e perfil de tráfego (duração de chamadas, tempo entre chamadas, quantidade de chamadas recebidas), além da topologia e distribuição geográfica da rede [2].

Nos sistemas móveis que utilizam soluções convencionais de gerenciamento de localização, como o GSM (*Global System for Mobile Communications*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), duas operações básicas são empregadas. A primeira é a atualização da área de rastreamento (*Tracking Area Update* – TAU), processo em que a estação móvel informa a rede a sua localização atual. A área de

cobertura é dividida em várias áreas de rastreamento (*Tracking Area* – TA). O TAU é executado quando o usuário móvel atravessa o limite dessa área, atualizando assim sua localização na rede. A segunda operação é o *paging*, funcionalidade que permite que a rede procure a EM por meio de mensagens de *broadcast* na TA que o usuário se registrou pela última vez. A área de rastreamento, formada por um grupo de estações radiobase agrupadas, deve ser idealmente configurada de forma que a sinalização originada pelo número de *paging* e o número de TAU seja minimizada.

Alguns cenários causam limitações no desempenho desse esquema convencional de TA. O problema mais grave é o efeito “ping-pong”[3], em que a EM realiza diversas TAUs ao deslocar-se para uma célula pertencente a uma outra TA e, logo em seguida, retorna para a célula anterior. Outro problema é o surto de TAUs devido ao registro simultâneo. Essa situação ocorre quando um número considerável de EMs entram, em um curto espaço de tempo, na cobertura de uma nova célula com TA diferente da célula anterior. Esse cenário é comum quando um trem cruza as células de bordas pertencentes a duas TAs diferente, gerando uma rajada de sinalização.

O sistema *Long Term Evolution* (LTE) oferece um mecanismo flexível para o gerenciamento de localização das EMs. Foi introduzida no 3GPP Versão 8 a lista de TA (*Tracking Area List* - TAL), que além de resolver os problemas relatados, permite um melhor balanceamento de carga nos TAs [4]. Nesse esquema, em vez de associar um único TA para cada EM, é associada uma lista de TAs. Assim a EM utiliza a TAL recebida até se deslocar para uma célula na qual a TA não esteja contida na lista. Somente neste caso haverá a necessidade do procedimento de TAU e o fornecimento de uma nova TAL para a EM. Nesse contexto, o *paging* é enviado para todas as células que fazem parte da TAL.

As associações das células com as TAs e a inclusão dessas TAs na TALs impactam diretamente a utilização dos recursos de sinalização. A Tabela I apresenta o quantitativo de associações possíveis para redes móveis com esquema de TA (GSM e UMTS) e TAL (LTE) para diversas quantidade de TA [5].

TABELA I  
NÚMERO DE ASSOCIAÇÕES POSSÍVEIS POR QUANTIDADE DE TA.

Número de Associações	TA=2	TA=3	TA=4	TA=5
Esquema TA	3	7	15	31
Esquema TAL	5	109	32.297	$2.15 \times 10^9$

Este tipo de problema, em que o espaço de soluções

possíveis é finito e discreto, é um problema de otimização combinatória [4]. O objetivo da otimização é maximizar uma função cujas variáveis devem obedecer certas restrições, encontrando assim a melhor solução dentro o espaço de todas as soluções possíveis. Este trabalho utiliza o algoritmo genético para escolher as associações que minimizem o custo de sinalização, permitindo assim encontrar soluções ótimas ou quase ótimas com menos recurso computacional do que métodos tradicionais.

Este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: A seção II apresenta os conceitos de gerência de localização em uma rede móvel. A seção III introduz as características do AG. Na seção IV é apresentada a implementação do AG para o problema tratado. Os resultados são discutidos na seção V. Por fim, a seção VI é reservada às conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

## II. GERENCIAMENTO DE LOCALIZAÇÃO

A Figura 1 apresenta um cenário com 2 TALs e 10 células, sendo as TALs sobrepostas. A EM armazena em sua memória a TAL enviada pelas células por meio de mensagens de *broadcast*. Nessa lista recebida, a TA que a EM está registrada está obrigatoriamente incluída. A EM está na cobertura da célula 4 e armazena a TAL1={TA1,TA2,TA3}. O *paging* é enviado para todas as células da TAL1 (células 1 a 6) em busca da EM. Ao realizar o deslocamento para a posição 1, a EM checka se a TA recebida da célula 5 está incluída na TAL armazenada. Como a TA3 está na TAL1, não há ação a ser realizada pela EM. No caso do deslocamento para a posição 2, a EM não encontra a TA4 na TAL 1. Assim, a EM executa um procedimento de TAU, informando a rede que está registrada na célula 7 e recebe da mesma a lista TAL2. É importante notar que usuários de uma mesma célula podem possuir diferentes TALs, pois existe a possibilidade de sobreposição de área de rastreamento.

### A. Planejamento de TA e TAL

O planejamento da área de rastreamento consiste na configuração de TA e TALs em uma rede móvel de forma que os custos de sinalização para o gerenciamento de localização sejam minimizados. Para redes com uma grande quantidade de elementos, é um grande desafio encontrar uma configuração adequada em termos de uso de recursos de sinalização. Como no padrão LTE é permitido que as EMs em uma célula possam ter diferentes TALs (dependendo da célula que originalmente atribuiu o TAL), existe uma complexidade em obter a estimativa da utilização dos recursos de gerenciamento de localização [6].

Várias pesquisas têm sido realizadas para resolver o problema em redes GSM e UMTS. Abordagens heurísticas têm sido implementadas com sucesso para encontrar boas soluções, dentre elas enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization* – PSO) [7], *Simulated Annealing* (SA) [8] e algoritmo de otimização por colônia de formiga [9]. O algoritmo genético foi um dos primeiros algoritmos bio-inspirados utilizados no problema de gerenciamento de localização [10]. Entretanto, essas soluções não são plenamente aplicáveis em redes LTE

devido ao advento do novo esquema de TAL, que permite uma maior redução de sinalização comparada ao esquema tradicional. Em [11] os autores propuseram um método para alocação e atribuição de TALs para redes LTE. O algoritmo é simples mas não garante uma boa solução, pois cada célula é otimizada individualmente de acordo com sua própria métrica e sem levar em consideração as células vizinhas. Em [6] o algoritmo proposto leva em consideração o impacto das células vizinhas na alocação de TAL, fornecendo resultados melhores do que o algoritmo que apenas busca um ótimo local para uma célula específica. O resultado não é o ótimo porque as células que não são vizinhas são desprezadas na otimização individual de cada célula.

As métricas utilizadas para avaliar o desempenho de um algoritmo de gerenciamento de localização são o número de TAUs executados e o número de *pagings* enviados para as células [12]. Essas métricas devem ser minimizadas de forma que largura de banda do uso da sinalização gerada por esses eventos, tanto nos elementos do core quanto nos elementos de acesso, também seja reduzida.

O custo total ( $C_T$ ) relativo a mobilidade em uma rede celular é dado por [11]

$$C_T = R \times N_{TU} + N_P \quad (1)$$

em que  $N_{TU}$  é a quantidade de TAU,  $N_P$  é a quantidade de *pagings* na rede e  $R$  é uma constante que representa a razão do custo entre TAU e *paging*. O custo de um evento de TAU é maior do que o evento de *paging* devido aos procedimentos complexos que são executadas a cada ocorrência de atualização de localização pela EM. O valor padrão utilizado é  $R = 10$  [10].

Para auxiliar a representação do custo de TAU, é definida a variável  $w_{ij}$  como o número de assinantes que saem da cobertura da célula  $i$  e entram na cobertura célula  $j$ . Para uma rede com  $n$  células, o custo de TAU é dado por:

$$N_{TAU} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot u(i, j) \quad (2)$$

em que  $u(i, j)$  é uma função que retorna zero caso a TA da célula  $i$  seja a mesma TA da célula  $j$  e retorna 1, caso contrário.

O número de *pagings*  $p_i$  executados na célula  $i$  é o número de chamadas destinadas a esta célula e para as outras que estejam nas TAs contidas na mesma TAL. O custo de *pagings* é dado por

$$N_P = \sum_{i=1}^n p_i \cdot m_i \quad (3)$$

em que  $m_i$  é o número de células na rede que possuem a mesma TAL da célula  $i$ . Portanto, o custo total da sinalização TAU e *paging* é dado por

$$C = R \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot u(i, j) + \sum_{i=1}^n p_i \cdot m_i \quad (4)$$

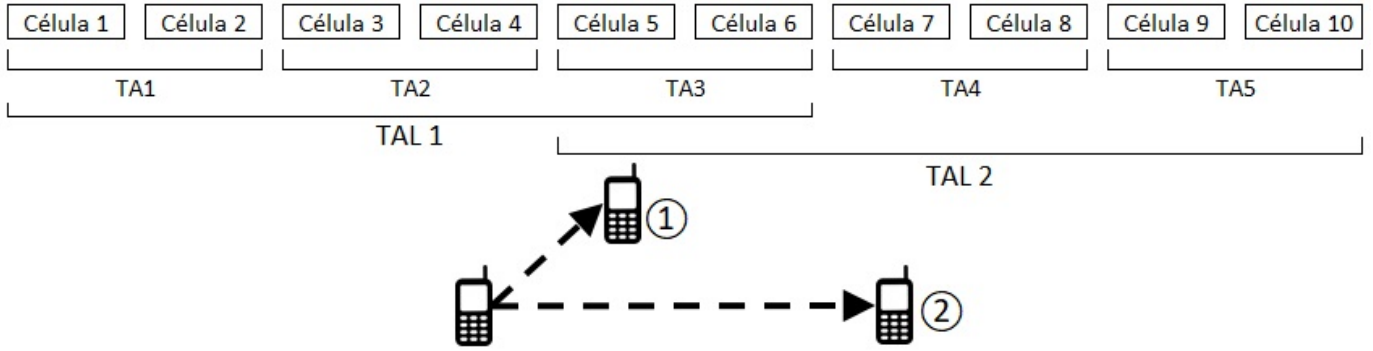


Fig. 1. Exemplo de uma rede com 10 células, 5 TAs e 2 TALs.

### III. ALGORITMO GENÉTICO

O algoritmo genético é uma técnica de inteligência artificial inspirada nos mecanismos de seleção natural e na genética [13]. Segundo a Teoria de Charles Darwin sobre a evolução, os indivíduos que apresentem características que os deixem mais aptos para o ambiente possuem uma probabilidade maior de sobreviver e reproduzir. Essas características podem ter sido herdadas pelos pais ou devido a uma mutação. Graças a recombinação e mutação genética, os filhos não são iguais aos pais. Ao eliminar os indivíduos mais fracos ao longo do tempo, a população teria uma maior probabilidade de sobrevivência. As informações relevantes são passadas de geração a geração por meio do código genético. Esse conceito de evolução é aplicado no AG para encontrar uma solução de um problema específico, com a utilização de uma estrutura de dados similar à de um cromossomo e aplicando operadores que recombinem essas estruturas preservando informações críticas [14].

Assim, inicialmente é gerada uma população de indivíduos de forma aleatória. Essa população é avaliada e para cada indivíduo uma nota é atribuída referente a sua habilidade de adaptação a determinado ambiente. Uma parte dos indivíduos é descartada e outra é selecionada, podendo sofrer modificações por meio de mutações e gerando descendentes por meio de cruzamentos. O processo é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada. Os procedimentos que o algoritmo executa são detalhados a seguir.

### IV. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO GENÉTICO

Para implementar o AG foi utilizada a linguagem C++, executado em computador com processador Intel® Core i5-8250 com 3.40 GHz, 16GB de memória RAM e sistema operacional Windows 10 de 64 bits. A avaliação do AG foi realizada com base na média, valor máximo e mínimo das soluções utilizando 100 experimentos independentes para cada abordagem testada. As seguintes adaptações foram realizadas no AG para atender o problema tratado neste trabalho.

#### A. Codificação

É adotado um cromossomo de tamanho fixo  $n$  igual ao número de células da rede a ser otimizada. Cada gene da estrutura do cromossomo é uma área de rastreamento, representada por um número inteiro. Os valores possíveis de TA

variam de 1 a  $n$  (que ocorre apenas se cada célula tiver um TA único). Para representar as TALs, são adicionados  $2^m - 1$  genes no cromossomo. Cada TAL pode variar de 0 a  $2^{(2^m - 1)} - 1$ . O cromossomo só é considerado válido caso todos os TAs utilizados pelas células estejam representados no TALs. Caso contrário, a operação que gerou esse evento é refeita até que o cromossomo resultante seja válido. Essa abordagem mostrou mais eficiente do que penalizar os resultados inválidos. Na implementação realizada, para que a população inicial fosse a mais diversificada possível, foram eliminados indivíduos duplicados, permitindo então uma maior cobertura do espaço de pesquisa. Portanto, o tamanho total do cromossomo no modelo utilizado é igual a  $m + 2^m - 1$ . A Figura 2 ilustra essa representação do cromossomo, com a divisão dos genes da TA e TAL.

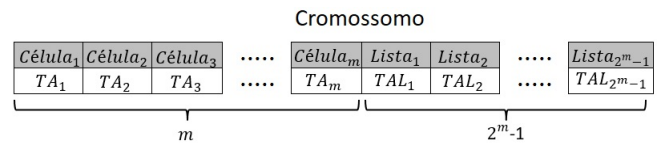


Fig. 2. Representação do cromossomo.

#### B. População Inicial

A população inicial é formada de forma aleatória, respeitando os limites inferiores e superiores dos valores possíveis de TA e TAL. Esse princípio garante que os primeiros indivíduos sejam heterogêneos. Ressalta-se, também, que O tamanho da população é fixo.

#### C. Cruzamento

O operador cruzamento é responsável pela troca de segmentos de informações entre os cromossomos selecionados. O cruzamento implementado neste trabalho consiste na escolha aleatória de um número inteiro  $p$  qualquer, tal que  $1 \leq p \leq m$  (para TA) e  $1 \leq p \leq 2^m - 1$  (para TAL) de forma que o primeiro filho receba todos os primeiros genes  $p$  de um dos pais e os genes restantes são recebidos do outro pai. O segundo filho utiliza a ordem inversa.

#### D. Mutação

A mutação efetua, com uma probabilidade predeterminada, algum tipo de alteração na estrutura dos indivíduos. O propósito é manter a diversidade genética e prevenir uma convergência prematura por meio de mudanças aleatórias nos indivíduos. Cada intervalo de TA e TAL utiliza uma probabilidade para mutação ocorrer independentemente uma da outra. Assim, a velocidade de convergência do algoritmo e busca por uma solução ótima podem ser melhores ajustadas.

#### E. Função Objetivo

A função objetivo, que é utilizada como avaliação da qualidade da solução representada pelos cromossomos, é o custo total de sinalização dada pela Equação 2.

#### F. Otimização de Parâmetros

Uma nova abordagem foi utilizada no operador mutação. A mutação do AG clássico altera aleatoriamente genes individuais do TA para qualquer um dos valores válidos. Em vez de utilizar esse procedimento, a mutação adotada altera o TA atual por um TA que de uma das células vizinhas por uma certa probabilidade  $\tau$ . Assim, cada vez que uma mutação ocorre, existe uma probabilidade  $\tau$  que a nova TA seja de uma TA de uma célula vizinha. Esse procedimento melhora o valor de aptidão encontrado e o tempo de convergência, pois é esperado que em uma rede móvel a TA seja composta por células geograficamente conectadas [15].

Na Tabela II estão listados os parâmetros utilizados neste trabalho, encontrados por meio de experimentação e avaliação dos resultados.

TABELA II  
PARÂMETROS DO ALGORITMO GENÉTICO.

Parâmetros	Especificações
Tamanho da População	40
Tipo de Cruzamento	Multiponto
Taxa de Cruzamento TA	0,9
Taxa de Cruzamento TAL	0,2
Probabilidade de Mutação TA	3%
Probabilidade de Mutação TAL	1%
Reposição da população	Estratégia Elitista
Método de Seleção	Torneio
Condição de Parada (gerações)	300

## V. RESULTADOS

Diferentes redes LTE, com diferentes topologia e perfil de tráfego e mobilidade foram implementados para validar o modelo de AG adotado neste trabalho. Na elaboração dessas redes de testes são necessárias informações sobre o fluxo de pessoas que trafegam entre as células e os usuários que permanecem nas células originais ao longo do período de análise, além da relação de vizinhança entre as células. Obtendo de forma estritamente aleatória esses atributos da rede, em particular o número de chamadas recebidas e o deslocamento dos usuários entre as células, implicaria nos valores de *pagings* e TAUs não correlacionados [16]. Porém, em uma rede real esses números

são altamente correlacionados. Devido a essas limitações, as redes de testes foram geradas de acordo com perfis de tráfego do usuário por meio de um simulador de tráfego e mobilidade e não de forma simplesmente aleatória. Os dados obtidos do simulador são formatados de acordo com a Figura 3 e utilizados como entradas no AG.

Célula	TA	Pagings	Transição 1		Transição 2		...	Transição v	
			#Viz_1←Célula	#Viz_2←Célula	#Viz_v←Célula	#Viz_v←Célula			
1	TA <sub>1</sub>	#pagings <sub>1</sub>	#transição_c <sub>1</sub> v <sub>1</sub>	#transição_c <sub>1</sub> v <sub>2</sub>	...	#transição_c <sub>1</sub> v <sub>v</sub>	...	#transição_c <sub>1</sub> v <sub>v</sub>	
2	TA <sub>2</sub>	#pagings <sub>2</sub>	#transição_c <sub>2</sub> v <sub>1</sub>	#transição_c <sub>2</sub> v <sub>2</sub>	...	#transição_c <sub>2</sub> v <sub>v</sub>	...	#transição_c <sub>2</sub> v <sub>v</sub>	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
n	TA <sub>n</sub>	#pagings <sub>n</sub>	#transição_c <sub>n</sub> v <sub>1</sub>	#transição_c <sub>n</sub> v <sub>2</sub>	...	#transição_c <sub>n</sub> v <sub>v</sub>	...	#transição_c <sub>n</sub> v <sub>v</sub>	

Fig. 3. Atributos da Rede Obtidos pelo Simulador.

O cenário geral implementado no simulador contém 10.000 usuários que apresentam movimentações independentes em uma região de simulação com 25, 35 e 49 células uniformemente distribuídas em uma área de 20 km × 20 km. Como convenção, apenas quando a simulação entra no estado estacionário os dados são reunidos para cálculo das métricas de desempenho.

Com as redes obtidas pelo simulador, o AG é utilizado para encontrar uma configuração de TA e TAL que minimize o custo de sinalização. Primeiramente são comparados os resultados encontrados para uma rede LTE utilizando o esquema tradicional (apenas TA) e o esquema avançado (TAL). Devido à complexidade da rede, nem sempre é possível determinar a solução ótima para essas redes. O esquema baseado na TAL reduz o custo de sinalização em cerca de 25%, para as três redes investigadas, quando comparado ao esquema com TA, conforme apresentada na Figura 4.

Custo de Sinalização em Redes LTE

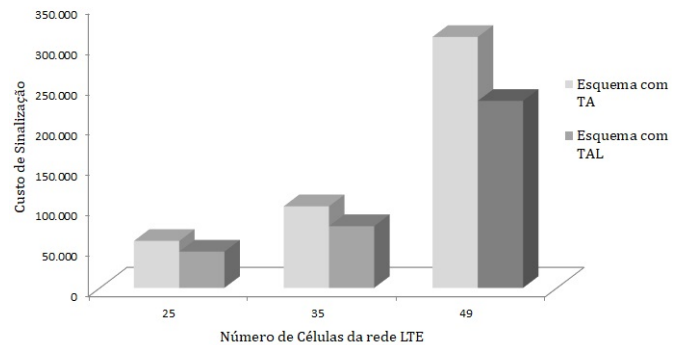


Fig. 4. Custo de sinalização para redes com 25,35 e 49 células utilizando os esquemas com TA e TAL.

A Tabela III apresenta os valores de TAU, *paging* e custo total de sinalização encontrados por meio do AG e o tempo médio de execução e quantidade média de iteração gastos na obtenção dos resultados para as redes investigadas.

A Figura 5 apresenta, para diferentes fatores de intensidade de chamada (probabilidade de recebimento de uma chamada pela EM), o custo de sinalização para a utilização do esquema de TA e TAL. Um aumento no fator de intensidade de chamada gera mais *paging* e, conseqüentemente, um aumento

TABELA III  
DESEMPENHO DO AG EM REDES LTE DE DIVERSOS TAMANHO.

Rede	TAU	Paging	Custo Total	Duração	Iterações
25 células	9.232	35.688	44.920	27s	144
35 células	21.323	54.677	66.520	48,5s	166
49 células	90.055	133.665	223.720	138,2s	244

no custo de sinalização. Para uma rede com mesmo padrão de mobilidade e comportamento de tráfego, o esquema de TAL apresentou um desempenho 18% melhor do que o esquema de TA.

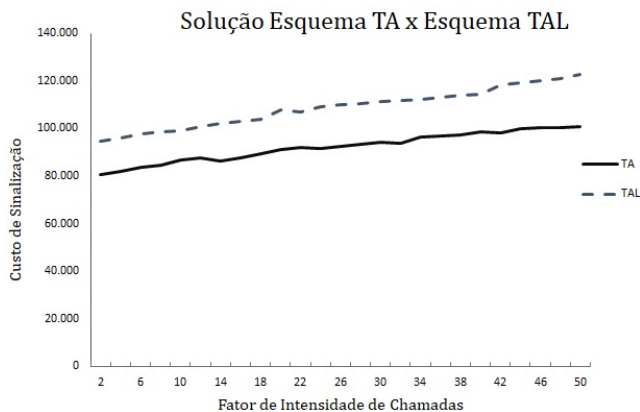


Fig. 5. Custo de sinalização em função da intensidade de chamadas para os esquemas TA e TAL.

Os resultados obtidos pelo operador mutação modificada apresentaram convergência mais rápida do que o operador tradicional, conforme pode ser observado na Figura 6.

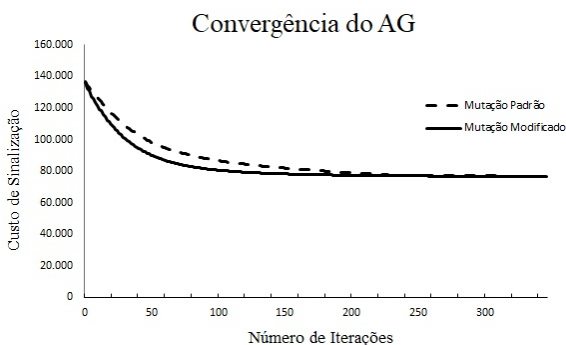


Fig. 6. Comparação da convergência do AG com operador mutação para uma rede com 35 células.

## VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para otimizar redes LTE utilizando o algoritmo genético. O controle da carga de sinalização gerada pelas operações de TAU e paging é imprescindível em sistemas móveis celulares cada vez mais complexos. Em particular no LTE, mesmo com a complexidade da busca de soluções otimizadas, foi possível explorar o potencial do esquema baseado em TAL.

As modificações executadas no AG tradicional permitiram a adequação do algoritmo ao problema investigado e possibilitou, além da melhora do desempenho do algoritmo, encontrar soluções ótimas ou sub-ótimas de forma consistente.

Foram realizados estudos comparativos aplicando o modelo em redes LTE geradas por simulações. Os resultados obtidos (associações célula-TA-TAU que minimizam o custo de sinalização) apresentaram consistências quando foram reinseridos no simulador. Com um tempo de processamento aceitável, o AG permite que configurações otimizadas sejam realizadas em tempo real, característica importante para redes móveis que alteram o comportamento de tráfego e mobilidade ao longo do dia.

Como trabalho futuro, os autores pretendem utilizar outros algoritmos de otimização e comparar os seus desempenhos.

## REFERÊNCIAS

- [1] S. M. Razavi and D. Yuan, "Reducing Signaling Overhead by Overlapping Tracking Area List in LTE," in *2014 7th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference, WMNC 2014*, pp. 1–7, 2014.
- [2] S.-T. Sheu, C.-L. Lin, and J. Chen, "Reducing Signaling Cost of Location Management in Cellular Network Using Fuzzy Logic Controller," in *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, pp. 1–8, 2015.
- [3] T. Deng, X. Wang, P. Fan, and K. Li, "Modeling and Performance Analysis of a Tracking-Area-List-Based Location Management Scheme in LTE Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 8, pp. 6417–6431, 2016.
- [4] S. R. Parija, P. K. Sahu, and S. S. Singh, "Evolutionary algorithm for cost reduction in cellular network," in *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pp. 1–6, Dec 2014.
- [5] L. A. N. Oliveira, "Modelamento estocástico e análise de desempenho do gerenciamento de localização em uma rede lte," relatório técnico, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2017.
- [6] S. M. Razavi, D. Yuan, F. Gunnarsson, and J. Moe, "Exploiting Tracking Area List for Improving Signaling Overhead in LTE," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, 2010.
- [7] J. T. S. Kim, J. Byeon and H. Liu, "Swarm intelligent approaches for location area planning," *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, vol. 22, no. 5, pp. 287–306, 2014.
- [8] I. Demirkol, C. Ersoy, M. U. Caglayan, and H. Delic, "Location area planning in cellular networks using simulated annealing," *IEEE INFOCOM 2001*, vol. 1, pp. 13–20, 2001.
- [9] S.-S. Kim, I.-H. Kim, V. Mani, J. Kim, and D. Agrawal, "Partitioning of mobile network into location areas using ant colony optimization," *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol. 1, 09 2010.
- [10] J. Taheri and A. Y. Zomaya, "A genetic algorithm for finding optimal location area configurations for mobility management," *The IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary (LCN'05)*, pp. 577–585, 2005.
- [11] S. M. Razavi, D. Yuan, F. Gunnarsson, and J. Moe, "Dynamic tracking area list configuration and performance evaluation in lte," in *2010 IEEE Globecom Workshops*, pp. 49–53, Dec 2010.
- [12] X. Wang, X. Lei, R. Q. Hu, and Y. Qian, "Modeling of Tracking Area List-based Location Update Scheme in Long Term Evolution," in *2014 IEEE International Conference on Communications, ICC 2014*, pp. 2325–2331, 2014.
- [13] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley Pub Co., 1989.
- [14] I. A. C. Leal and C. J. A. Bastos-Filho, "Utilização de métodos de inteligência computacional para redução de bloqueio de chamada em sistema móvel celular," in *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, vol. 7, pp. 17–23, 2017.
- [15] L. A. N. Oliveira, M. S. Alencar, and W. T. A. Lopes, "Algoritmo genético modificado aplicado ao gerenciamento de localização de um sistema móvel celular," *VII Encontro Anual do Iecom em Comunicações, Redes e Criptografia (Encom 2017)*, pp. 55–56, 2017.
- [16] J. M. Valero, R. R. Paulo, and F. J. Velez, "Tele-Traffic Simulation for Mobile Communication Systems Beyond 3G," in *Proceedings of the Advanced International Conference on Telecommunications*, 2006.