

# Otimização de Modelos de Perda de Propagação da Rede LTE 1800 MHz utilizando Algoritmo Genético

Alexandre M.C. Valente, Josiane C. Rodrigues e Márcio R. Pinheiro

**Resumo** — A predição da perda de propagação das ondas de rádio tem como função, em comunicações móveis celulares, a otimização do planejamento e, conseqüentemente, a minimização do custo de implementação de um sistema celular em uma cidade, por exemplo. A fim de melhorar a eficiência da estimativa do nível de sinal recebido a uma determinada distância da Estação Rádio Base, são desenvolvidos Modelos de Perda de Propagação. Este artigo faz uso de dois desses modelos: Modelo COST 231- Walfish & Ikegami e Modelo SUI, para prever a perda de propagação da rede móvel LTE na faixa de frequência de 1800 MHz na cidade de Belém-PA. A otimização de tais modelos foi realizada com o uso de Algoritmos Genéticos, pois apresentaram elevados erros de predição, distanciando-se das perdas medidas. Com o uso dos Algoritmos Genéticos, foi possível atingir melhorias significativas nos modelos estudados, contribuindo, assim, para o planejamento mais eficiente da rede LTE.

**Palavras Chaves** — Modelos de perda de propagação, LTE 1800 MHz, Campanha de medição, Algoritmo Genético.

**Abstract** — The prediction of propagation loss of radio waves has the function to optimize planning and minimizing the implementation cost of a cellular system in a city for example. In order to improve the efficiency of the estimate of the received signal level at a certain distance from the radio base station are developed propagation loss models. This article uses two of these models: COST 231 – Walfish & Ikegami e SUI, to predict the mobile network propagation loss of LTE in 1800 MHz band in the city of Belem-PA. The optimization of these models was performed with the use of Genetic Algorithm, they showed high prediction errors, away from the loss measures. With the use of Genetic Algorithms it was possible to achieve significant improvements in the models studied, thus contributing to more efficient planning LTE Network.

**Keywords** — Propagation prediction model, LTE 1800 MHz, Received signal power measurement, Genetic Algorithm.

## I. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a internet e as redes celulares convergiram para uma nova definição: internet móvel. De acordo com [1], o Brasil, que possuía 204 milhões de habitantes, terminou o mês de março de 2014 com 273,58 milhões de linhas ativas na telefonia móvel, ou seja, número de linhas de telefonia é maior do que número de habitantes no país. Serviços como jogos interativos, *download* de vídeos e videoconferências hoje já são considerados como essenciais e, certamente, a demanda continuará crescendo.

A tecnologia LTE (*Long Term Evolution*) tem a intenção de melhorar o *throughput* (taxa de transferência de dados) e reduzir a latência, fornecendo maior qualidade nas comunicações móveis [2]. Neste trabalho serão realizadas medições de rede LTE em via públicas da cidade de Belém, as quais serão pós processadas e otimizadas afim de se obter a melhor predição de propagação na faixa de 1800MHz no ambiente estudado.

As próximas seções deste artigo estão organizadas da seguinte maneira: na seção II são abordados aspectos da Rede LTE e suas principais características. Na seção III tem-se a descrição dos modelos de perda de propagação utilizados neste artigo. A seção IV descreve a técnica utilizada para otimização, que é o algoritmo genético. Os materiais e métodos estão na seção V. A seção VI apresenta os resultados. Por fim, na seção VII estão as considerações finais.

## II. REDE LTE

De acordo com [3], o LTE representa a evolução das tecnologias de rede celular e é gerenciado pela 3GPP (*3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project*). Até o momento, o LTE ainda não é utilizado para serviços de voz (ligações telefônicas), quando o assinante realiza uma ligação a mesma é encaminhada para a tecnologia 3G através do CSFB (*Circuit Switched Fallback*), dessa forma o LTE utiliza somente o tráfego de dados [4].

A tecnologia LTE é atraente pois, dependendo da combinação de recursos da rede e aparelho do cliente, pode-se atingir taxas de até 100Mbps no *downlink* e 50 Mbps no *uplink* [5]. Quanto a forma de acesso, o LTE se diferencia das tecnologias anteriores, pois utiliza as especificações OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) que é responsável pela distribuição das informações das transmissões entre diversos subconjuntos paralelos de cobertura, favorecendo maiores velocidades para o *downlink* [6]. No *uplink*, é utilizado SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) que é capaz de reduzir o consumo de potência do móvel, diminuindo o gasto de energia (bateria) do telefone móvel. De acordo com [7], no LTE, a estação rádio base passa a realizar todas as tarefas da nodeB e do Controlador, denominando-se eNodeB.

De acordo com [8], a arquitetura da rede LTE tem 3 grandes domínios: UE – *Equipment User*; E-UTRAN – *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*; *Packet Core Network*.

## III. MODELOS DE PROPAGAÇÃO

A predição da área de cobertura de sistemas celulares é realizada através de modelos matemáticos que descrevem a perda do sinal para determinada distância entre o transmissor (antena) e receptor (equipamento móvel). Os modelos de perda de propagação são divididos em determinísticos e empíricos, os primeiros são baseados em

Alexandre M.C. Valente, Faculdade Estácio de Belém – Estácio Belém, Pará, Brasil, alexandremiguel100@hotmail.com.

Josiane C. Rodrigues, Faculdade Estácio de Belém – Estácio Belém, Pará, Brasil, josiane.rodrigues@estacio.br (orientadora);

Marcio R. Pinheiro, TIM Celular S/A, marciro.pinheiro@gmail.com (co-orientador).

formulações teóricas, enquanto que os empíricos são baseados em medições e análises em ambientes de propagação [9]. Para o presente trabalho foram escolhidos modelos de propagações que apresentassem melhor a perda de para o ambiente e frequência estudada.

A. Modelo COST-231 Walfish e Ikegami

De acordo com [10], no modelo COST-231 Walfish & Ikegami há diferença entre situações que ocorrem visada direta (LS - Linha de Sinal) e situações onde não acontece a visada direta (SLS - Sem Linha de Sinal). Neste trabalho as duas rotas de campanha de medição são com visada direta. Para esse caso, leva-se em consideração a frequência e a distância, conforme a Equação 1.

$$L_b = A + B \log(d) + C \log(f) \tag{1}$$

Onde  $L_b$  é a perda predita em dB,  $d$  é a distância em quilômetros e  $f$  é a frequência, em MHz. Sendo que:  $A=42,6$ ,  $B=26$  e  $C=20$ . Os valores de A, B, C são as variáveis otimizadas através do algoritmo genético.

B. Modelo Stanford University Interim (SUI)

O Modelo SUI foi desenvolvido para frequências entre 1,8 GHz e 3,5 GHz [11]. Este modelo é classificado basicamente em 3 tipos de ambiente denominados A, B e C. O ambiente tipo A é associado às regiões de relevos acidentados e intensa vegetação. O ambiente tipo C é apropriado para regiões de terreno plano que possuem densidades de vegetação leve. O ambiente tipo B é intermediário entre os tipos A e C. A perda de propagação no modelo SUI é dada pela Equação 2.

$$L = A + 10 \gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta L_f + \Delta L_h + S \tag{2}$$

Onde:

$$A = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \tag{3}$$

$$\gamma = a - bh_t + \left(\frac{c}{h_t}\right) \tag{4}$$

A equação para obter o  $\Delta L_h$ , que depende do tipo de terreno, é dada por (5) ou (6).

Para terrenos Tipo A e B:

$$\Delta L_h = -10,8 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) \tag{5}$$

Para terreno Tipo C:

$$\Delta L_h = -10 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) \tag{6}$$

Sendo:  $f$  a frequência de operação em MHz;  $d_0$  a distância de referência, normalmente igual a 100m;  $d$  a distância entre a estação rádio base e o receptor em m;  $h_t$  a altura da antena da estação rádio base em m;  $h_r$  a altura da antena do receptor em m;  $\lambda$  o comprimento de onda em m;  $S$  o efeito de sombreamento modelado como sendo uma variável aleatória log-normal de desvio padrão típico entre 8,2 e 10,6 dB.

As variáveis  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros do modelo SUI e são dados para cada tipo de terreno, conforme a Tabela 1. Essas variáveis foram otimizadas através do Algoritmo Genético.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo SUI [12].

Parâmetros	Terreno Tipo A	Terreno Tipo B	Terreno Tipo C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

IV. ALGORITMO GENÉTICO

O algoritmo genético é uma técnica computacional de busca e otimização inspirado na evolução natural e genética, onde é desenvolvida uma solução potencial para determinado problema em uma estrutura semelhante a de um cromossomo com aplicação de operadores de seleção e “cross-over”. Por conta disto, os algoritmos genéticos são vistos como otimizadores de função, apesar da capacidade de ser aplicados em diversos tipos de problemas [12]. Este tipo de otimização é bastante utilizada em casos de problemas complexos que exigem uma rápida convergencia.

A implementação desta técnica consiste em um conjunto de soluções ou parâmetros a serem otimizados (cromossomos) chamados de população, onde para cada cromossomo é calculado um valor *fitness* que é o valor atribuído a cada indivíduo da população e posteriormente comparado se o valor atual *fitness* é o ideal (solução do problema) ou se será necessário nova iteração entre os indivíduos, trocando códigos genéticos para obtenção de valores *fitness* melhores, selecionando assim melhores cromossomos [12].

A função objetivo de um problema de otimização fornece uma medida da proximidade de solução, cujo objetivo é encontrar o ponto ótimo. O fluxograma da Figura 1 apresenta as operações básicas de um algoritmo genético.

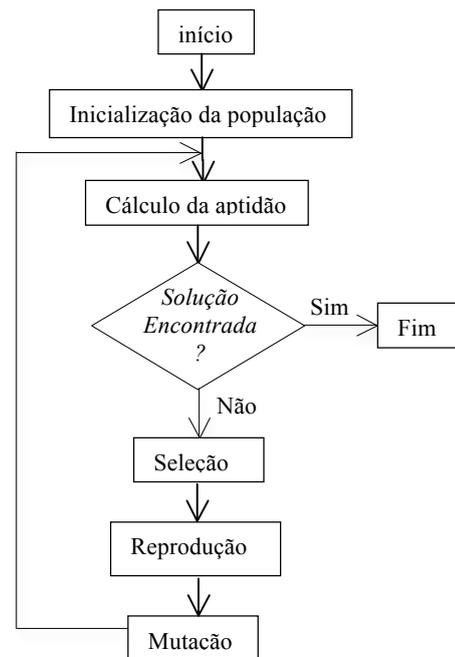


Figura 1 – Estrutura básica de um algoritmo genético Fonte: Adaptado[12].

V. MATERIAIS E MÉTODOS

Os modelos de perda de propagação COST-231 Walsifh & Ikegami e SUI foram obtidos através de implementação computacionais com auxílio do *software*

Matlab, e comparados com os dados coletados em campanhas de medição na cidade de Belém do Pará.

A. Coleta de dados

Foram realizadas medições de nível de sinal na faixa de 1800 MHz na cidade de Belém, em avenidas radiais às torres de transmissão e com visada direta. Houve coleta de dados em duas rotas.

As medições realizadas no percurso A foram feitas na Avenida Pedro Álvares Cabral, no sentido da Avenida Julio César para Avenida Doca de Souza Franco. Enquanto que a coleta de informações do percurso B foi realizada na Travessa Alferes Costa, no sentido da Avenida Marquês de Herval para Avenida Pedro Miranda.

A configuração padrão em torres LTE é a setorização das antenas, onde cada setor é responsável por atender uma região específica. Em áreas urbanas, as torres possuem 3 setores, cada setor cobrindo 120°, com os sites deste trabalho possuindo alturas em torno de 20 metros [12]. Na Figura 2 é mostrada a área de cobertura onde foram coletados os níveis de sinal. As Figuras 3 e 4 são imagens de trechos das rotas A e B, onde cada rota corresponde a uma eNodeB.



Figura 4 – Caracterização da Rota B – Trav. Alferes Costa

B – Configuração do receptor

As medições foram feitas com um *smartphone* da marca Samsung, modelo Galaxy J5, com antena de ganho 0 dBi, Figura 5. Antes da coleta de informações, foi necessário configurar o aparelho com o objetivo de que o celular fique acampado somente na rede LTE, não permitindo mudança de tecnologia durante a rota.

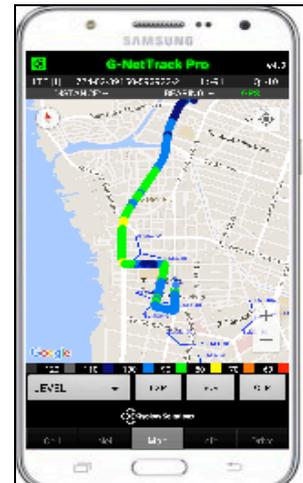


Figura 5 - Galaxy J5 com G-Net Track – meramente ilustrativa

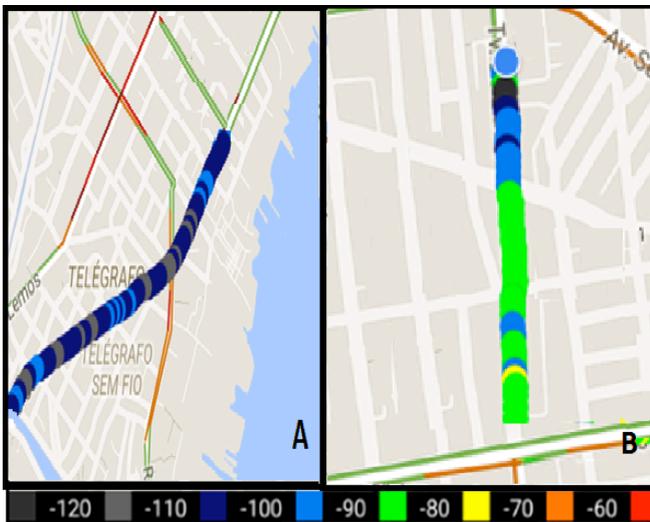


Figura 2 – Campanhas de medições Rotas A e B



Figura 3 – Caracterização da Rota A – Av. Pedro Álvares Cabral

Foi utilizado o aplicativo G-Net Track, que funciona com GPS (*Gloal Positioning System*) mostrando instantaneamente o nível de sinal. Com esse aplicativo é possível adquirir diversas informações da rede, tais como: coordenadas geográficas, nível de sinal, níveis de interferência, taxas de transferência de dados tanto em *downlink* quanto em *uplink*.

VI. RESULTADOS

Após a medição para obtenção de níveis de sinais, nas rotas A e B, foram implementados os modelos COST 231 – Walfish & Ikegami e SUI. Em seguida, os modelos foram otimizados através do algoritmo genético, com o objetivo de se determinar novos parâmetros para ajustar os modelos estudados e reduzir o erro médio.

A Figura 6 é o gráfico das perdas de propagação e a aplicação do modelo COST-231 Walfish & Ikegami, sem e com a otimização do Algoritmo Genético, comparados com as perdas medidas na campanha de medição da rota A. No Modelo COST 231- Walfish & Ikegami, foram otimizados os valores X1, X2 e X3 que são os parâmetros propostos pelo modelo, ver (1), referente à rota A mostrado na Tabela 2.

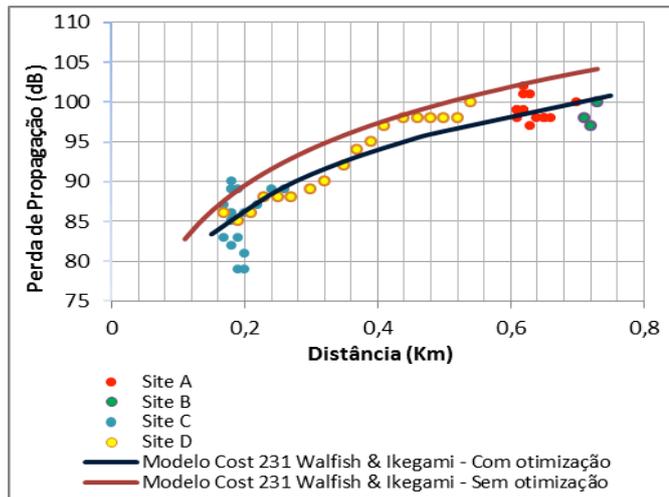


Figura 6 – Predição do Modelo COST 231 – Walfish & Ikegami – padrão e otimizado na rota A

Tabela 2 – Parâmetros otimizados – Modelo COST 231 – Walfish e Ikegami – ROTA A.

Parâmetros	Padrão	Otimizado
X1	42,60	41,24
X2	26,00	24,90
X3	20,00	19,25

Na Figura 7, é possível observar as perdas de propagação do Modelo Modelo COST 231 – Walfish & Ikegami, com e sem otimização dos Algoritmos Genéticos, comparados com as perdas medidas na campanha de medição da rota B, Avenida Alferes Costa, na cidade de Belém-PA.

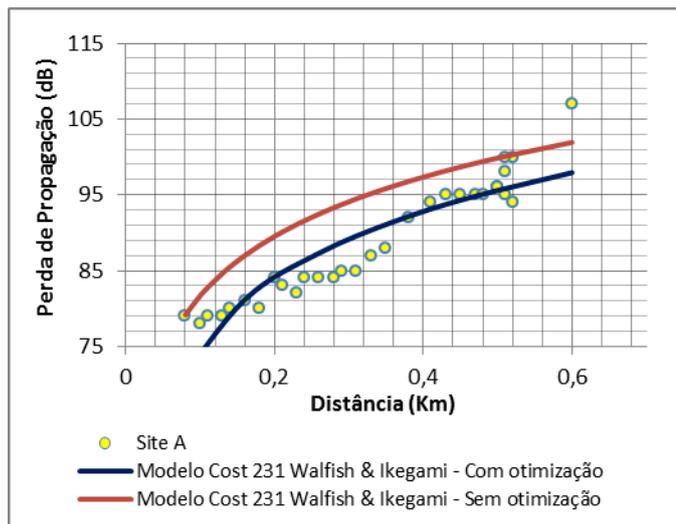


Figura 7 – Predição do Modelo COST 231 – Walfish & Ikegami – padrão e otimizado na rota B

A Tabela 3 apresenta os novos valores de X1, X2 e X3, referente a Rota B do Modelo COST 231- Walfish & Ikegami.

Tabela 3 – Parâmetros otimizados – Modelo COST 231 – Walfish & Ikegami – ROTA B.

Parâmetros	Padrão	Otimizado
X1	42,60	41,53
X2	26,00	29,21
X3	20,00	19,31

A Figura 8 mostra as perdas de propagação do modelo SUI, com e sem otimização através dos Algoritmos Genéticos, comparados com as perdas medidas na rota A.

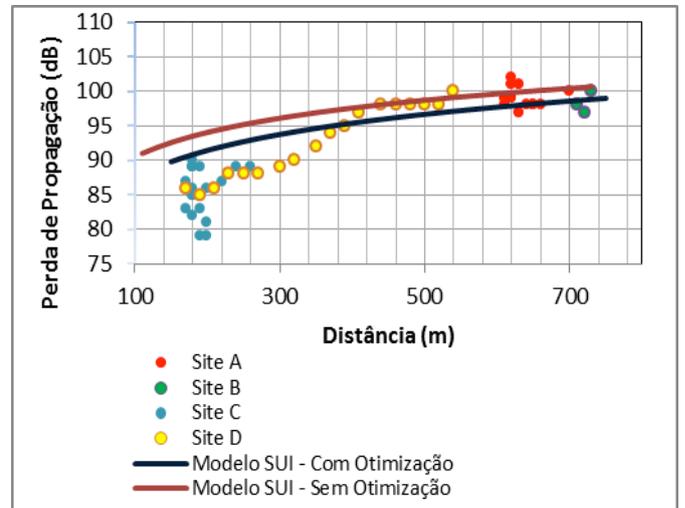


Figura 8 – Predição do Modelo SUI – padrão e otimizado na ROTA A

Para o Modelo SUI, foram otimizadas as constantes do expoente de perda de propagação para o tipo de terreno estudado, mostrado na Tabela 4 para a Rota A.

Tabela 4 – Parâmetros otimizados – Modelo SUI – ROTA A.

Parâmetros	Padrão	Otimizado
a	3,60	5,55
b	0,005	0,0049
c	20	20,86

Na Figura 9, observa-se a perda de de propagação do Modelo SUI, com e sem otimização dos Algoritmos Genéticos, comparados com as perdas medidas na campanha de medição da rota B. Neste caso, as constantes do expoente de perda de propagação para o terreno estudado são mostrados na Tabela 5.

Nas Tabelas 6 e 7, é possível visualizar os valores do erro médio quadrático e desvio padrão dos modelos estudados, antes e após otimização dos parâmetros através dos Algoritmos Genéticos, referente às medições da rota A e B.

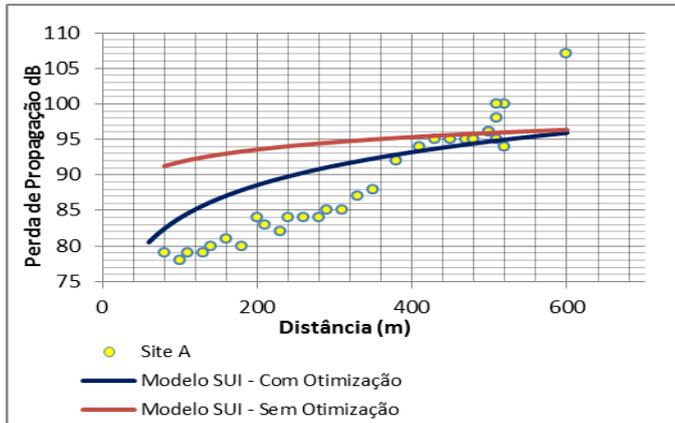


Figura 9 – Predição do Modelo SUI – padrão e otimizado na rota B

Tabela 5 – Parâmetros otimizados – Modelo SUI – ROTA B.

Parâmetros	Padrão	Otimizado
a	3,60	18
b	0,005	0,0013
c	20	28,24

Tabela 6 – Desempenho dos Modelos de Propagação para os dados coletados na rota A, antes e após a otimização.

Modelo	Sem otimização		Com otimização	
	Erro Médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro Médio (dB)	Desvio Padrão (dB)
COST 231 – Walfish & Ikegami	3,42	6,67	1,84	6,33
SUI	8,24	5,62	3,53	5,32

Tabela 7 – Desempenho dos Modelos de Propagação para os dados coletados na rota B, antes e após a otimização.

Modelo	Sem otimização		Com otimização	
	Erro Médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro Médio (dB)	Desvio Padrão (dB)
COST 231	6,02	6,61	2,52	5,81
SUI	6,84	6,24	4,89	6,20

## VII. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho era a análise do comportamento dos modelos de perda de propagação na área urbana da capital paraense em uma faixa de 1800 MHz, onde pode-se verificar a otimização dos modelos através de algoritmos genéticos para diminuir o erro médio e desvio padrão. O modelo Cost 231 Ikegami & Walfish mostrou-se mais adequado para predição de níveis de sinal recebido no ambiente estudado. Como pode ser observado na distribuição gráfica (Figuras 6 e 7), em que as distribuições das medições acompanham a tendência do modelo, e na análise do erro médio, como na rota A que apresenta erro médio de 3,42 com o modelo Cost 231 e o SUI com 8,24, ambos sem otimização. Com a implementação do algoritmo genético observa-se uma redução significativa do erro nas duas rotas e nos dois modelos (Tabelas 6 e 7). Já o desvio padrão apresentou pouca variação. A Rota A apresenta menor erro médio nos dois modelos e é a rota que apresenta

o maior número de amostras da potencia de sinal. Desta forma é possível implementar programas de predição com maior confiabilidade para a rede LTE outdoor na faixa de 1800MHz.

Para trabalhos futuros, propõe-se a análise de outros modelos de perda de propagação e otimização através de redes neurais em comparação com o algoritmo genético.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. “Relatório da ANATEL 2014. Brasília”, 2014.
- [2] L.G.C. Ferraz, R.R.G. Garcia e D. Nunes, “Estudo comparativo entre sistemas propostos para 4G:LTE e WiMAX móvel”, Congresso de Iniciação Científica do Inatel – INICITEL, Santa Rita do Sapucaí, 2012.
- [3] TELECO. Inteligência em Telecomunicações. “Redes LTE: Implantações e Características Básicas”.Disponível em: [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeslte/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeslte/pagina_2.asp). Acesso:03/01/2016.
- [4] B.J.E. Vargas et al. “Performance of CS FallBack from LTE to UMTS”, Communications Magazine, IEEE, vol.51,n.9, 2013.
- [5] H, Holma e A. Toskala, “LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA based Radio Access”, Nokia Siemens Networks, Finland, Wiley,2009.
- [6] E, Dahlman et al. “3G evolution:HSPA and LTE for Mobile Broadband”, Oxford, UK, Elsevier, 2007.
- [7] T. Aliyahya. “Understanding LTE and its Performance Springer”, New York Dordrecht Heidelberg, London, 2011.
- [8] 3GPP. “UTRAN architecture for 3G home Node B (HNB)”, Taipei,2010.
- [9] M.F. Cátedra e J.P. Ariaga. “Cell Planning for Wireless Communications”, Norwood:Artech House, 1999.
- [10] S. Faruke. “Cellular mobile systems engineering”, Norwood: Artech House, 1996
- [11] A. Mehrotra. “Cellular Radio Performance Engineering”, Norwood: Artech House, 1994.
- [12] M.R. Pinheiro. “Planejamento de Rede LTE utilizando aproximação híbrida de modelo empírico outdoor: medição e técnica de algoritmo genético”, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.