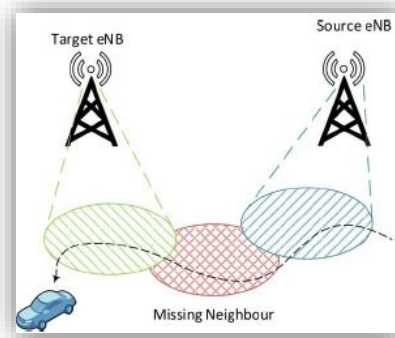




Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Área Departamental de Engenharia de Electrónica e
Telecomunicações e de Computadores



Optimização da Lista de Células Vizinhas em Redes LTE

David Eduardo Correia Duarte
(Licenciado)

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Electrónica e Telecomunicações

Orientadores:

Doutor Pedro Manuel de Almeida Carvalho Vieira

Licenciado Pré-Bolonha Nuno Oliveira Silva

Juri:

Presidente: Professor Doutor Mário Pereira Véstias

Vogal: Professor Doutor António José Castelo Branco Rodrigues

Vogal: Professor Doutor Pedro Manuel de Almeida Carvalho Vieira

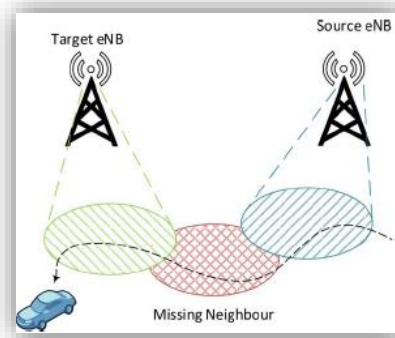
Vogal: Licenciado Pré-Bolonha Nuno Oliveira Silva

Novembro de 2014



Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Área Departamental de Engenharia de Electrónica e
Telecomunicações e de Computadores



Optimização da Lista de Células Vizinhas em Redes LTE

David Eduardo Correia Duarte
(Licenciado)

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Electrónica e Telecomunicações

Orientadores:

Doutor Pedro Manuel de Almeida Carvalho Vieira

Licenciado Pré-Bolonha Nuno Oliveira Silva

Juri:

Presidente: Professor Doutor Mário Pereira Véstias

Vogal: Professor Doutor António José Castelo Branco Rodrigues

Vogal: Professor Doutor Pedro Manuel de Almeida Carvalho Vieira

Vogal: Licenciado Pré-Bolonha Nuno Oliveira Silva

Novembro de 2014

Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio, colaboração e compreensão das pessoas que são de seguida distinguidas. A todos gostaria de exprimir o meu obrigado e reconhecer-lhes o elevado contributo que deram à concretização desta dissertação.

Ao Instituto de Telecomunicações pelo interesse e apoio que deu no desenvolvimento e divulgação deste trabalho.

À Celfinet e em especial aos Engenheiros Nuno Oliveira Silva e André Martins pela compreensão e apoio que deu ao longo da realização deste trabalho.

À Vodafone Portugal que tornou este trabalho possível pelo fornecimento de dados muito importantes da rede.

Ao Professor Pedro Vieira pela oportunidade, orientação, amizade e acima de tudo pela confiança que transmitiu desde o primeiro contacto. Grato já do tempo do projecto final de curso da Licenciatura.

Ao meu colega de curso Cláudio Franco que sempre me acompanhou, já desde o secundário, até ao final da vida académica.

Por fim, à pessoa mais importante da minha vida, a minha mãe Luísa Correia, por me proporcionar todo o apoio, quer psicológico e moral, quer financeiro. Sem ela nada disto seria possível, nem me teria tornado no homem que sou hoje.

Abstract

With the increasing complexity of already existent networks, it became evident the need to create functions that minimize one of the most intense tasks in the mobile network operation, the optimization. The main goal for Self Organizing Networks (SON) implementation is to automate most of common planning, optimization and operational tasks. This thesis aims to optimize the list of neighbor cells of the base stations in the network Long Term Evolution (LTE). This optimization is of utmost importance and applies to cells that are already in a production environment, as well as to new cells, for which completely new neighbor lists are to be generated. The target scope covers intra-frequency. The neighbor cell list optimization algorithms were developed over the Vismon[®], a Celfinet company software tool. This tool has some features, such as viewing in Google Earth[®] drive tests, with various signal levels defined by a color scale, and the representation of existing network topologies. The development of the referenced tool was done in Visual Studio, in a C # language, interacting with the database provided by Celfinet through SQL Server[®].

The developed algorithm provides enhanced methods to execute neighbor list optimization based on relevant counters and logs from the network, on all sectors belonging to a selected cluster of cells. It generates reports for each sector, with the proposed changes for optimization, including priority changes, addition, and neighbor relation removal.

In general, the neighbor cell list optimization algorithms have as inputs the LTE network topology, the existent neighbor lists, the signal measurements carried by drive tests, and the handover (HO) statistics conducted between all Evolved Node B's (eNB's) that have neighborly relations. The output of the simulation tool consists in a file viewable in Google Earth[®] and a report in Excel file that enables the user to check all the proposed changes in the neighbor list.

Five test scenarios, each with distinct characteristics, focusing on the three vectors calculation (network topology, measures and statistics) were prepared, where you can check the optimization of neighbor cell list. As interest is to optimize a given geographic area, is also presented graphically gains achieved by optimizing a cluster of cells.

Keywords

Self-Organizing Networks, LTE, Optimization, Neighbor Cell List, Algorithms, Vismon[®], NCL, Self-Optimization.

Resumo

Com o aumento da complexidade das redes actuais, tornou-se evidente a necessidade de serem criadas funções capazes de minimizar aquela que é uma das tarefas mais intensas na operação de uma rede móvel, a sua optimização. Posto isto, introduz-se o conceito de *Self-Organizing Networks* (SON), estas visam automatizar a maioria das tarefas associadas ao planeamento e optimização rádio. O principal objectivo desta dissertação é optimizar a lista de células vizinhas das estações base da rede *Long Term Evolution* (LTE). Esta optimização é de extrema importância e aplica-se a células em ambiente de produção, bem como a novas células, para as quais novas listas vizinhas deverão ser geradas. A definição da lista de vizinhas cobre relações de vizinhança intra-frequência.

Os algoritmos de optimização da lista de vizinhas foram desenvolvidos sobre a ferramenta de *software* Vismon[®], propriedade da Celfinet. Esta ferramenta possui algumas funcionalidades, como a visualização de *drive tests* no Google Earth[®], e a representação das topologias de rede existentes. A implementação dos algoritmos é realizada no Visual Studio[®] em C#, interagindo com a base dados disponibilizada pela Celfinet através do SQL Server[®].

A ferramenta fornece métodos para optimizar a lista de vizinhas com base em contadores relevantes e estatísticas da rede, em todos os sectores pertencentes a um *cluster* seleccionado de células. Adicionalmente, deverá apresentar relatórios, para cada sector, sobre as alterações propostas para a optimização, incluindo adição e remoção de vizinhas.

De um modo geral, os algoritmos de optimização da lista de células vizinhas têm como *inputs* a topologia de rede LTE, as listas de vizinhas já implementadas, as medidas de sinal realizadas pelos *drive tests*, bem como as estatísticas de *Handover* (HO) realizados entre todos os *Involved Node B's* (eNB's) que possuem relações de vizinhança. Os outputs da ferramenta desenvolvida consistem num ficheiro de visualização no Google Earth[®] com as células adicionadas, removidas e mantidas na nova lista, e um relatório em Excel[®] que contém todas as modificações detalhadas.

Foram elaborados cinco cenários de teste, cada um com particularidades distintas, focando os três vectores de cálculo (topologia de rede, medidas e estatísticas), onde é possível verificar a optimização da lista de células vizinhas das estações envolvidas. Como o interesse é optimizar uma dada área geográfica, também é apresentado graficamente o ganho obtido pela optimização de um *cluster* de células.

Palavras-chave

Self-Organizing Networks, LTE, *Optimização*, *Lista de Células Vizinhas*, *Algoritmos*, *Vismon*[®], *NCL*, *Self-Optimization*.

Índice

Agradecimentos	i
Abstract	iii
Resumo	v
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Equações	xv
Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objectivos	2
1.3 Organização do Relatório	4
1.4 Artigos Publicados	5
2 Estado da Arte	7
2.1 Long Term Evolution.....	8
2.1.1 Motivações e Requisitos LTE	8
2.1.2 Arquitectura de Rede.....	10
2.1.3 Arquitectura de Protocolos.....	13
2.1.4 Canais Físicos.....	15
2.1.5 Canais de Transporte	16
2.1.6 Canais Lógicos	16
2.1.7 Modos de <i>Duplexing</i>	18
2.1.8 Tecnologias de Acesso Múltiplo	18
2.1.9 Técnicas Multi-Antena	20
2.2 Self-Organizing Networks	22
2.2.1 Arquitectura SON.....	23
2.2.2 Funções SON.....	24
2.2.3 Automatic Neighbor Relation	25
3 Mobilidade em LTE	27
3.1 Mobilidade	28
3.1.1 Intra-LTE HO	28
3.1.2 Modo de Operação	29
3.1.3 Configuração das Medidas	30

3.1.4	Execução de Handover.....	32
3.1.5	Parâmetros de HO	34
3.2	Neighbor Cell List.....	35
3.2.1	NCL Ótima.....	36
3.2.2	Optimização da NCL.....	37
4	Algoritmo de Optimização da Lista de Vizinhas.....	39
4.1	Proposta de Algoritmo	40
4.1.1	NCL Inicial.....	42
4.1.2	Critérios de Decisão	42
4.1.3	Pesos dos critérios de decisão	50
4.1.4	Análise do Ganho de Optimização.....	50
5	Ferramenta de Simulação.....	53
5.1	Vismon®	54
5.1.1	Thematic Maps	54
5.1.2	Network Topology	55
5.1.3	Neighbor Cell List.....	57
6	Resultados e Análise ao Desempenho do Algoritmo	61
6.1	Definição dos Cenários	62
6.1.1	Cenário 1	62
6.1.2	Cenário 2	64
6.1.3	Cenário 3	66
6.1.4	Cenário 4	68
6.1.5	Cenário 5	70
6.2	Ganho de Optimização de um Cluster	73
7	Conclusões e Trabalho Futuro	77
7.1	Conclusões	78
7.2	Trabalho Futuro	81
8	Anexo A	83
8.1	Relatório Cenário 1	84
8.2	Relatório Cenário 2	85
8.3	Relatório Cenário 3	86
8.4	Relatório Cenário 4	87
8.5	Relatório Cenário 5	88
	Referências.....	89

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo de transição de estados [3].....	9
Figura 2.2 – Arquitectura de rede LTE [4].....	10
Figura 2.3 – Arquitectura E-UTRAN [5].....	11
Figura 2.4 – Pilha de protocolos no plano de utilizador na E-UTRAN [5].....	13
Figura 2.5 – Pilha de protocolos no plano de controlo [5].....	14
Figura 2.6 – Mapeamento dos canais nas três camadas, em downlink e uplink [8].	17
Figura 2.7 – Técnica de modulação OFDM [10].	19
Figura 2.8 – Diferentes Configurações de antenas [11].	20
Figura 2.9 – Diferentes arquitecturas SON: centralizada, distribuída e híbrida [12].....	23
Figura 2.10 - Procedimentos SON [14].....	24
Figura 2.11 – Arquitectura função ANR [14].	26
Figura 3.1 – Parâmetros de handover [18].	31
Figura 3.2 – Mensagens trocadas num intra-LTE HO [19].....	33
Figura 3.3 – Exemplo de falha de HO por ausência de célula vizinha.	35
Figura 3.4 – Conceito de condição de célula vizinha [20].	37
Figura 4.1 – Esquema da proposta de algoritmo.	40
Figura 4.2 – Teoria dos quadrantes	44
Figura 4.3 – Cálculo do ângulo formado entre eNBs.....	44
Figura 4.4 – Ranking critério de decisão da distância.....	45
Figura 4.5 – Ranking critério de decisão das estatísticas.....	47
Figura 4.6 – Área de overlap.	48
Figura 4.7 – Ranking critério de decisão das medidas.....	49
Figura 4.8 – Pesos de cada critério de decisão.....	50
Figura 4.9 – Andamento do sinal best server.	51
Figura 5.1 – Logotipo Vismon Observer.	54
Figura 5.2 – Separador thematic maps.	54
Figura 5.3 – Níveis de servingCell RSRP para EARFCN = 6300.	55
Figura 5.4 – Separador network topology.....	55
Figura 5.5 – eNBs Example.	56
Figura 5.6 – Especificações do eNB e do sector.....	56
Figura 5.7 – Separador NCL.	57

Figura 5.8 – Exemplo de células vizinhas.....	58
Figura 5.9 – Exemplo da folha summary.	59
Figura 5.10 – Exemplo da folha neighbor cell list.	59
Figura 5.11 – Exemplo da folha detailed neighbor cell list.	60
Figura 5.12 – Exemplo da folha NCL optimization gain.	60
Figura 6.1 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 2.	62
Figura 6.2 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 2.....	63
Figura 6.3 – Parte do relatório da célula SITE 1, PSS 2.	63
Figura 6.4 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 0.	64
Figura 6.5 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 0.....	64
Figura 6.6 – Relatório da célula SITE 1, PSS 0.	65
Figura 6.7 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 1.	66
Figura 6.8 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 1.....	66
Figura 6.9 – Parte do relatório da célula SITE 1, PSS 1.	67
Figura 6.10 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 1.	68
Figura 6.11 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 1.....	68
Figura 6.12 – Parte I do relatório da célula SITE 1, PSS 1.....	69
Figura 6.13 – Parte II do relatório da célula SITE 1, PSS 1.....	69
Figura 6.14 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 2.	70
Figura 6.15 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 2.....	70
Figura 6.16 – Parte I do relatório da célula SITE 1, PSS 2.....	71
Figura 6.17 – Parte II do relatório da célula SITE 1, PSS 2.....	71
Figura 6.18 – Parte III do relatório da célula SITE 1, PSS 2.	72
Figura 6.19 – Antiga NCL, lista com os best servers e nova NCL.	72
Figura 6.20 – Ganho de otimização cenário 5.....	73
Figura 6.21 – Cluster de 8 sites 1800 no google maps.....	74
Figura 6.22 – KML do cluster de 8 eNBs 1800.	74
Figura 6.23 – Ganho do cluster de 8 sites 1800.	75
Figura 8.1 – Summary do relatório do cenário 1.....	84
Figura 8.2 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 1.....	84
Figura 8.3 – Summary do relatório do cenário 2.....	85
Figura 8.4 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 2.....	85
Figura 8.5 – Summary do relatório do cenário 3.....	86
Figura 8.6 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 3.....	86

Figura 8.7 – Summary do relatório do cenário 4.....	87
Figura 8.8 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 4.....	87
Figura 8.9 – Summary do relatório do cenário 5.....	88
Figura 8.10 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário5.....	88

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Parâmetros de intra-LTE HO [16].....	34
Tabela 4.1 – Relações de vizinhança iniciais.....	42
Tabela 4.2 – Tabela de estatísticas com os PM Counters.....	46
Tabela 5.1 – Legenda dos componentes.....	57
Tabela 6.1 – Resultado final da otimização do cenário 5.....	71

Índice de Equações

<i>Equação 3.1</i> – Desencadear eventoA3.....	31
<i>Equação 4.1</i> – Ângulo entre eNBs	44
<i>Equação 4.2</i> – Step da distância	455
<i>Equação 4.3</i> – Taxa de Falhas de HO	47
<i>Equação 4.4</i> – Step de HO	47
<i>Equação 4.5</i> – Condição de overlap	48
<i>Equação 4.6</i> – Percentagem overlap	48
<i>Equação 4.7</i> – RSRP médio.....	49
<i>Equação 4.8</i> – Step das medidas.....	49

Acrónimos

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgement
ANR	Automatic Neighbor Relations
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
CapEx	Capital Expenditure
CCCH	Common Control Channel
CDF	Cumulative Distribution Function
CGI	Cell Global Identity
D-SCH	Downlink Shared Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DFT	Direct Fourier Transform
DFT-SOFDM	Discrete Fourier Transform Spread OFDM
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL-SCH	Downlink Shared Channel (DL-SCH)
DTCH	Dedicated Traffic Channel (DTCH)
E-UTRAN	Evolved Radio Access Network
EARFCN	EUTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
eMBMS	Evolved MBMS
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
FDD	Frequency Division Duplex
GE	Google Earth
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
HLR	Home Location Register
HO	Handover
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access

HSS	Home Subscriber Server
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
ISI	Intersymbol Interference
KML	Keyhole Markup Language
L1	Layer 1
LTE	Long Ter Evolution
MAC	Medium Acces Control
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MCH	Multicast Channel
MCCH	Multicast Control Channel
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MISO	Multiple-Input Single-Output
MME	Mobility Management Entity
MTCH	Multicast Traffic Channel
NAK	Negative AK
NAS	Non-Access-Stratum
NCL	Neighbor Cell List
NRT	Neighbor Relation Table
O&M	Operação e Manutenção
OAM	Operations Administration and Maintenance
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OpEx	Operational Expenditure
P-GW	Packet Data Network Gateway
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCH	Paging Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCI	Physical Cell Identity
PCRF	The Policy Control and Charging Rules Function
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol

PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PM	Performance Management
PMCH	Physical Multicast Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PSS	Primary Synchronization Signal
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SC-FDM	Single Carrier Frequency Division Multiplexing
SGW	Serving Gateway
SIMO	Single-Input Multiple-Output
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SISO	Single-Input Single-Output
SON	Self-Organizing Networks
SSS	Secondary Synchronization Signal
TDD	Time Division Duplex
Tx	Transmitter
UE	User Equipment
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMTS	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register

Capítulo 1

Introdução

No primeiro capítulo é feita uma introdução ao estudo realizado. Começa-se por um enquadramento do mesmo na realidade actual, seguindo-se de uma apresentação dos objectivos e resultados esperados no fim do trabalho. Finalmente, é apresentada a estrutura do documento.

1.1 Enquadramento

Com a massificação das tecnologias de 3^a e 4^a geração, especialmente com o LTE, no caso da última, uma maior complexidade é adicionada às redes móveis atuais. A coexistência de diferentes tecnologias, e implementadas a partir de diferentes fornecedores, exige um maior esforço de gestão por parte dos operadores de redes móveis. A chegada da quarta geração de redes móveis marca uma forte mudança no paradigma das comunicações, com a implementação de redes puramente comutadas por pacotes, colocando os serviços de dados como principal área de negócio. A necessidade de ritmos de transmissão cada vez maiores, assim como novos e melhores serviços enquanto um utilizador de uma rede móvel se desloca, foram as principais motivações para o trabalho de especificação do *Long Term Evolution* (LTE), apresentado nas *Releases 8 e 9* pelo *3rd Generation Partnership Project* (3GPP).

Como referido anteriormente, com o aumento da complexidade das redes actuais, tornou-se evidente a necessidade de criar mecanismos capazes de minimizar aquela que é uma das tarefas mais intensas na operação de uma rede móvel, a sua optimização. Estes tipos de funções podem traduzir-se em ganhos de eficiência e na redução dos custos operacionais (OpEx) e capitais dos operadores (CapEx), automatizando ao máximo as tarefas envolvidas, como a sua configuração e optimização, reduzindo as hipóteses de erro humano.

O principal objectivo da introdução das *Self-Organizing Networks* (SON) é automatizar a maioria das tarefas associadas ao planeamento e optimização rádio. Dentro das SON e da auto-optimização, distingue-se uma área de extrema importância que será desenvolvida neste trabalho, a optimização da lista de vizinhas de estações-base LTE.

1.2 Objectivos

O foco principal deste trabalho destina-se à configuração e optimização da lista de células vizinhas. Esta optimização aplica-se tanto a células que já estejam em ambiente de produção, como a novas células, para as quais novas listas vizinhas deverão ser geradas. A definição da lista deverá cobrir relações de vizinhança inter e intra-frequência. Este trabalho também permite avaliar os principais benefícios das SON, no que diz respeito ao planeamento e optimização de redes de quarta geração LTE, não só através do seu estudo, como também através da implementação de algoritmos que permitem observar e optimizar o funcionamento de algumas das suas principais funções.

Os algoritmos de otimização da lista de vizinhas serão desenvolvidos sobre a ferramenta de *software* Vismon[®], propriedade da Celfinet. Inicialmente a ferramenta permite, por exemplo, a visualização de *drive tests* no Google Earth[®] (GE), com os vários níveis de sinal definidos por uma escala de cores, a representação das topologias de rede existentes em Portugal das várias gerações pertencentes ao operador Vodafone, entre outras. A implementação dos algoritmos será realizada no Visual Studio[®] em C#, interagindo com a base de dados disponibilizada pela Celfinet através do SQL Server[®].

De um modo geral, os algoritmos de otimização da lista de células vizinhas terão como *inputs* a topologia de rede LTE, as listas de vizinhas já implementadas, as medidas de sinal realizadas pelos *drive tests*, bem como as estatísticas de HO realizados entre todos os eNB's que possuem relações de vizinhança.

1.3 Organização do Relatório

O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma:

- ✓ **Capítulo 1: Introdução** – O capítulo 1 pretende ser uma introdução ao estudo realizado, começando por um enquadramento na realidade actual, seguida de uma apresentação dos objectivos e resultados esperados no fim do trabalho.
- ✓ **Capítulo 2: Estado da Arte** – O segundo capítulo apresenta uma introdução aos conceitos e tecnologias abordados ao longo deste trabalho. Começa-se com um breve resumo ao LTE, analisando as suas motivações, objectivos, arquitectura, interface rádio e protocolos, bem como outras características importantes. Segue-se o estudo das redes SON, elemento essencial no desenvolvimento do trabalho, analisando as suas características e funcionamento.
- ✓ **Capítulo 3: Mobilidade em LTE** – O capítulo 3 permite abordar uma das questões essenciais do projecto, a mobilidade. A utilidade das listas de células vizinhas, bem como a necessidade da sua optimização, deve-se ao processo de *Handover* (HO). São abordados diferentes tipos de HO, intra e inter-frequência, assim como os parâmetros relevantes envolvidos no processo. O modo de operação e execução do HO, bem como a configuração de uma *Neighbor Cell List* (NCL) também são analisados.
- ✓ **Capítulo 4: Algoritmo de Optimização da Lista de Células Vizinhas** – No quarto capítulo é elaborada uma descrição do modo como o algoritmo foi desenvolvido, bem como a estratégia utilizada na configuração e optimização das listas. São apresentados os critérios de decisão usados na implementação da nova NCL, um baseado na distância e orientação dos sectores em relação à célula de serviço, outro com base nas estatísticas de rede, e, por último, um critério baseado nas medidas de nível de sinal obtidas por *drive test*. Por fim, é apresentado o modo como se juntam os três critérios de modo a obter uma lista optimizada com uma maior fiabilidade.

- ✓ **Capítulo 5: Ferramenta de Simulação** – Aqui é feita uma breve introdução ao *software* de simulação utilizado no desenvolvimento do trabalho. São descritas as funcionalidades mais importantes do mesmo, com especial atenção à optimização de lista de células vizinhas.
- ✓ **Capítulo 6: Resultados e Análise ao Desempenho do Algoritmo** – É feita a análise de desempenho da ferramenta desenvolvida com vários cenários reais de estudo, bem como os resultados obtidos. Este capítulo permite perceber as razões que levam a adicionar, manter ou remover uma dada célula na NCL, com base na junção dos três critérios de decisão que compõe o algoritmo.
- ✓ **Capítulo 7: Conclusões e Trabalho Futuro** – Neste capítulo são revistos os objectivos propostos para este trabalho, os métodos de implementação abordados e apresentadas as conclusões com base nos resultados obtidos. Finalmente apresentam-se também algumas propostas de trabalho futuro, partindo do trabalho desenvolvido.

1.4 Artigos Publicados

As técnicas desenvolvidas no algoritmo e os resultados obtidos durante a realização deste trabalho permitiram a publicação dos seguintes artigos:

D. Duarte, P. Vieira, A. Rodrigues, A. Martins, N. Oliveira e L. Varela, “Neighbour List Optimization for Real LTE Radio Networks,” em *IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile*, Bali, Indonésia, 2014.

D. Duarte, P. Vieira, A. Rodrigues, A. Martins, N. Oliveira e L. Varela, “Optimização da Lista de Células Vizinhas em Redes LTE,” no 8.º Congresso do Comité Português da URSI - “Drones e veículos autónomos: desafios do presente e do futuro”, Lisboa, 2014.

Capítulo 2

Estado da Arte

O segundo capítulo apresenta uma introdução aos conceitos e tecnologias abordados ao longo deste trabalho. Começa-se com um breve resumo ao LTE, analisando as suas motivações, objectivos, arquitectura, interface rádio e protocolos, bem como outras características importantes. Segue-se o estudo das redes SON, elemento essencial no desenvolvimento do trabalho, analisando as suas características e funcionamento.

2.1 Long Term Evolution

O LTE foi proposto pelo 3GPP e apresentado nas Releases 8 e 9, tratando-se de um sistema de comunicações móveis totalmente novo. Foi iniciado em 2004 com a definição dos requisitos iniciais. Apesar do *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) estar a surgir nessa altura, tornou-se claro que o trabalho para o próximo sistema de comunicações móveis deveria começar. Demorou mais de cinco anos desde o estabelecimento das metas até à implementação comercial do sistema utilizando padrões de interoperabilidade [1].

O surgimento da quarta geração de redes móveis marca uma forte mudança no paradigma das comunicações, com a implementação de redes puramente comutadas por pacotes, colocando os serviços de dados como principal área de negócio dos operadores.

O conceito LTE consiste numa rede de acesso rádio, *Evolved Radio Access Network* (E-UTRAN), e numa rede core, *Evolved Packet Core* (EPC). Esta tecnologia impulsiona o aumento da eficiência espectral, a compatibilidade com outras gerações de redes e a redução dos custos de Operação e Manutenção (O&M) dos operadores [2].

2.1.1 Motivações e Requisitos LTE

A necessidade de taxas de dados cada vez maiores, assim como novos e melhores serviços enquanto um utilizador de uma rede móvel se desloca, foram as motivações para o trabalho de padronização do LTE [2].

Podem identificar-se alguns factores que promovem a implementação do LTE, a evolução da capacidade da rede fixa, a necessidade de capacidade adicional móvel, a necessidade de baixo custo de entrega de dados móveis e a concorrência de outras tecnologias sem fios. Com a evolução da tecnologia de rede fixa, a rede móvel deverá acompanhar de modo a assegurar o correcto funcionamento das aplicações. Existem também outras redes móveis que prometem uma elevada capacidade de dados, sendo que as tecnologias do 3GPP devem igualar ou até superar a concorrência. Mais capacidade é uma exigência clara para tirar o máximo proveito do espectro disponível e das estações base [1].

A norma LTE [3] especifica débitos superiores, maior eficiência espectral, menor latência, flexibilização da largura de banda do canal e redução dos custos. Segundo a norma referenciada, as principais metas da tecnologia encontram-se listadas de seguida:

- ✚ Débito máximo – 100 Mbps (5 bps/Hz) em *downlink* e 50 Mbps (2.5 bps/Hz) em *uplink* para uma largura de banda de 20 MHz;

- ✚ Latência – Redução significativa no tempo de transição de estados do terminal, plano de controlo, ver Figura 2.1, e no plano de utilizador de 5 ms, relacionado com tempos de trânsito de pacotes *Internet Protocol* (IP).

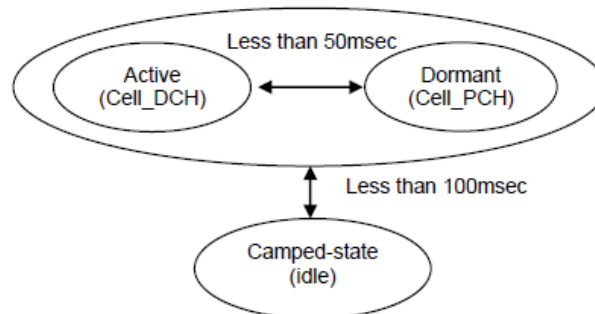


Figura 2.1 – Exemplo de transição de estados [3].

- ✚ *Throughput* – Capacidade em *downlink* 3 a 4 vezes superior e em *uplink* 2 a 3 superior à alcançada na *Release 6* HSDPA;
- ✚ Eficiência Espectral – 3 a 4 vezes melhor em *downlink* e 2 a 3 vezes melhor em *uplink* do que a *Release 6* HSDPA;
- ✚ Mobilidade – Suporta *handovers* para outras tecnologias e velocidades até 350 km/h, mas a optimização é feita para velocidades baixas, até 15 km/h;
- ✚ Flexibilidade Espectral – Pode ser implementado com diferentes larguras de banda: 1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15 e 20 MHz, tanto em *downlink* como em *uplink*, cabendo ao operador a escolha de largura de banda;
- ✚ Co-existência – Deve ser assegurada a coexistência na mesma área geográfica e co-localização com as tecnologias anteriores. Deve também ser verificada a co-existência entre os operadores nas bandas adjacentes;
- ✚ Custo – Deverá ser alcançada uma redução de *Capital Expenditure / Operational Expenditure* (CapEx/OpEx), da complexidade, e do consumo de energia dos terminais. Todas as interfaces devem promover a interoperabilidade.

2.1.2 Arquitectura de Rede

A nova arquitectura de rede reflecte a implementação de serviços baseados totalmente em pacotes IP nas comunicações móveis, tais como a completa optimização do desempenho da rede e a melhoria da relação custo/eficiência. Esta possui várias diferenças face à arquitectura da rede *Universal Terrestrial Radio Access Network* (UMTS), pois trata-se de uma arquitectura plana que reduz os nós envolvidos nas ligações e também apresenta uma nova hierarquia. A Figura 2.2 representa a arquitectura de uma rede LTE [1].

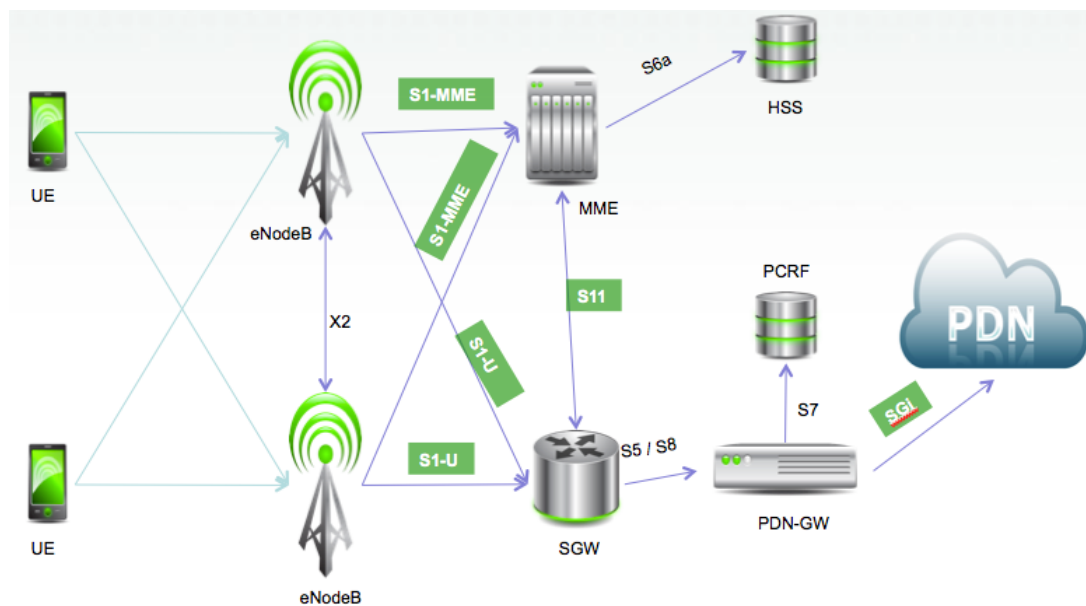


Figura 2.2 – Arquitectura de rede LTE [4].

Embora o termo LTE represente a evolução da tecnologia UMTS de acesso rádio através da E-UTRAN, é acompanhado por uma evolução dos aspectos não rádio e designado por *System Architecture Evolution* (SAE), que inclui o núcleo da rede, o EPC. Juntamente com o *User Equipment* (UE), LTE e SAE compõem o *Evolved Packet System* (EPS) [5].

- **Rede de Acesso Rádio E-UTRAN**

A rede de acesso rádio é simplesmente constituída por *Evolved NodeB's* (eNB's), tal como ilustrado na Figura 2.3. Para o tráfego de utilizador não existe qualquer controlador centralizado na E-UTRAN, ao contrário da anterior rede UTRAN que incluía o controlador de estações base, daí a arquitectura ser considerada plana. Os eNB's são interligados entre si através da interface X2, enquanto que ao EPC são através da S1 [5].

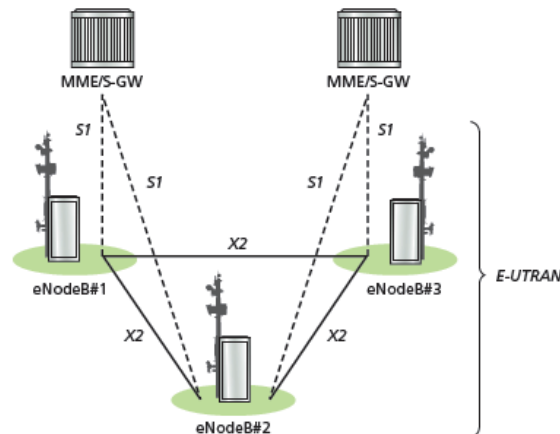


Figura 2.3 – Arquitetura E-UTRAN [5].

Uma das características mais importantes desta rede é a importância que o eNB passou a ter. Todas as tarefas e funcionalidades de rádio passam agora a ser feitas na estação base, como as funções de gestão de recursos rádio – *Radio Resource Management (RRM)*, compressão de dados, segurança e conectividade com as entidades do core da rede, o *Mobility Management Entity (MME)* e *Serving Gateway (SGW)* [5].

Na E-UTRAN, a maioria das funções de gestão rádio são atribuídas ao eNB, o que permite uma melhor interação entre protocolos de diferentes camadas da rede de acesso, reduzindo assim a latência e aumentando a eficiência da rede. Esta nova funcionalidade permite eliminar o controlador de estações base, presente na tecnologia UMTS, daí a necessidade da existência da interface X2 para questões de HO.

• Rede core EPC

A rede EPC é responsável pelo controlo global do UE. Os nós lógicos desta parte da rede são: [1], [5]

- *Packet Data Network Gateway (P-GW)* – Este *Gateway* é responsável pela atribuição de endereços IP ao UE e suporta a filtragem de pacotes para cada utilizador com base em modelos de fluxo de tráfego. Serve como ponto de entrada e de saída do tráfego de dados do UE e de interface entre as redes LTE e as redes de pacotes de dados exteriores. Adicionalmente, aplica políticas de Qualidade de Serviço (QoS) de modo a assegurar um determinado débito. É utilizado também como âncora de mobilidade para a interoperabilidade com tecnologias que não pertencem ao 3GPP;

- S-GW – Faz a transição entre a rede de acesso rádio e a rede EPC. Todos os pacotes IP do utilizador são transferidos através deste, o que serve como âncora de mobilidade local para os *HO* entre os eNB's. Realiza a contabilização e o controlo dos dados do utilizador;
- MME – É equivalente ao *Home Location Register* (HLR) e ao *Visitor Location Register* (VLR) na rede UMTS. É o nó de controlo que processa a sinalização entre o UE e a rede core. Facilita a optimização das redes implementadas e permite flexibilidade total na ampliação da capacidade. Ainda faz a gestão do acesso do UE à rede através da interacção com o *Home Subscriber Server* (HSS), que possui informação específica do utilizador, de forma a autenticar os mesmos. Fornece a função do plano de controlo para permitir a mobilidade contínua entre o LTE e outras tecnologias;
- *The Policy Control and Charging Rules Function* (PCRF) – É responsável pela política de controlo e tomada de decisão de pedidos multimédia, bem como pelo controlo de funcionalidades de tarifação com base no fluxo de serviços de dados para o P-GW.

- **Interfaces**

A ligação entre os vários nós da rede é realizada através de interfaces, apresentadas na Figura 2.2, podendo ser separadas em dois planos, as do plano de gestão: [1]

- S1-MME – Ponto de referência para o protocolo do plano de controlo entre o E-UTRAN e o MME.
- S6a – Interface entre o MME e o HSS que permite a transferência de dados de subscrição e de autenticação.
- Gx – Interface entre o PCRF e o P-GW que permite a transferência das políticas de QoS e das regras de tarifação. (Não representada na Figura 2.2)
- Rx – Interface entre o PCRF e as redes externas. (Não representada na Figura 2.2)

e as do plano de Utilizador:

- X2 – Interligação entre eNB's. Possibilita a transferência de dados do utilizador. É efectuada a gestão da carga das antenas bem como a coordenação dos HO;
- S1-U – Interface entre o eNB e o S-GW;
- S5/S8 – Faz a ligação em termos do Plano de Utilizador e a gestão dessa ligação entre o S-GW e o P-GW;
- S11 – Interface entre o S-GW e o MME. É usada para troca de sinalização;
- SGi – Interface entre o P-GW e as redes externas, permitindo o acesso à internet, por exemplo.

2.1.3 Arquitectura de Protocolos

À semelhança de tecnologias anteriores, na E-UTRAN cada interface é dividida em plano de utilizador e plano de controlo. O plano de utilizador transporta os dados do utilizador, tais como voz e dados, bem como sinalização ao nível das aplicações usadas pelo mesmo. O plano de controlo suporta todas as mensagens e procedimentos estritamente relacionados com as funcionalidades suportadas pela interface, como mensagens de controlo para o procedimento de HO.

• Plano de Utilizador

Um pacote IP destinado a um UE é encapsulado num protocolo específico do EPC e é criado um túnel entre o P-GW e o eNB para a transmissão. Diferentes protocolos de encapsulamento são usados em diferentes interfaces. Um protocolo de encapsulamento específico 3GPP chamado *General Packet Radio Service (GPRS) Tunneling Protocol (GTP)* é usado sobre as interfaces da rede core, S1 e S5/S8 [5].

A pilha de protocolos no plano de utilizador na rede de acesso rádio E-UTRAN está representada a azul na Figura 2.4, sendo especificada de seguida: [6]

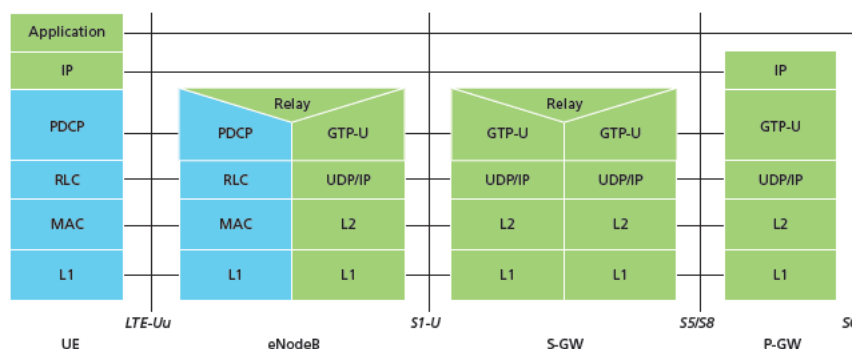


Figura 2.4 – Pilha de protocolos no plano de utilizador na E-UTRAN [5].

- *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)* – É responsável pelo processamento das mensagens de gestão de recursos rádio, *Radio Resource Control (RRC)*, no plano de controlo e dos pacotes IP no plano do utilizador. Cabe a este protocolo as funções de compressão, segurança, integridade e confidencialidade, ordenação em pacotes IP e retransmissão em situações de HO;
- *Radio Link Control (RLC)* – Assegura a segmentação e reconstrução dos pacotes IP para transmissão, retransmissão em caso de erro e reorganização para o uso de *Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ)*;
- *Medium Acces Control (MAC)* – Faz a multiplexagem dos dados da interface rádio;
- *Layer 1 (L1) ou Physical* – O papel desta camada é oferecer serviços de transporte de dados em canais físicos para as camadas superiores MAC e RLC.

• Plano de Controlo

A pilha de protocolos para o plano de controlo entre o UE e MME é mostrado na Figura 2.5. [5]

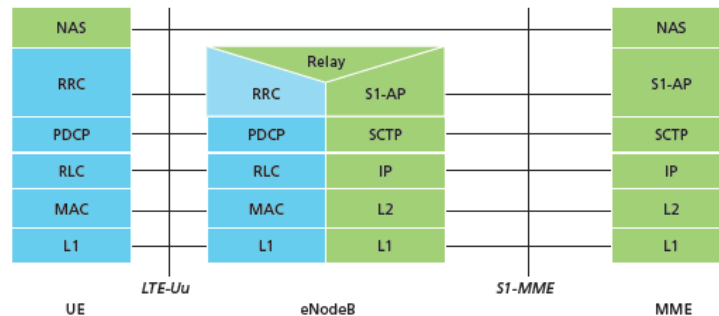


Figura 2.5 – Pilha de protocolos no plano de controlo [5].

Para o plano de controlo tem-se a sinalização entre o UE, eNB e MME. Todas as decisões de mobilidade são da responsabilidade do eNB, mas o MME também actua quando esta ocorre entre estações diferentes através da camada *Non-Access-Stratum (NAS)*, que permite sinalização directa entre o UE e o MME.

2.1.4 Canais Físicos

A interface rádio LTE consiste em sinais e canais físicos. Os sinais são gerados na L1 e usados para sincronização do sistema, identificação da célula e estimativa do canal rádio. Em *downlink*, o *Primary* e o *Secondary Synchronization Signal* (PSS e SSS) codificam a identificação das células, permitindo ao UE identificar e sincronizar-se na rede. Em ambos os sentidos existem os *Reference Signals*, conhecidos por sinais piloto em outras tecnologias, usados pelo receptor de modo a estimar a amplitude e fase do sinal recebido no canal rádio. Por sua vez, os canais físicos transportam dados das camadas superiores, fazendo controlo e escalonamento. Juntamente com os sinais, são canais físicos que levam ao UE as informações do sistema. Nota-se a ausência de canais dedicados, uma característica dos sistemas de comutação de pacotes [7].

A camada física (L1) LTE é tipicamente *full duplex*. Esta opera continuamente em *downlink* com sincronização intercalada, proporcionando múltiplos canais simultaneamente com modulação variável. O *standard* LTE especifica os seguintes canais físicos: [7], [8]

- *Physical Broadcast Channel* (PBCH): Transporta informação específica das células (frequência, canal de controlo, sincronização de trama);
- *Physical Control Format Indicator Channel* (PCFICH): Informa o UE sobre o número de símbolos OFDM usado pelos PDCCH's;
- *Physical Downlink Control Channel* (PDCCH): Informa o UE sobre a atribuição de recursos;
- *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel* (PHICH): Transporta o Hybrid ARQ *Acknowledgement* (ACK) / *Negative ACKs* (NAKs) em resposta a transmissões *uplink*;
- *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH): Transporta o *Downlink Shared Channel* (D-SCH) e o *Paging Channel* (PCH);
- *Physical Multicast Channel* (PMCH): Transporta o *Multicast Channel* (MCH);
- *Physical Uplink Control Channel* (PUCCH): Transporta o Hybrid ARQ ACK/NAKs em resposta a transmissões descendentes;
- *Physical Uplink Shared Channel* (PUSCH): Transporta o *Uplink Shared Channel* (U-SCH);
- *Physical Random Access Channel* (PRACH): Transporta os preâmbulos de acesso que são enviados pelo UE.

2.1.5 Canais de Transporte

Através dos canais de transporte, os canais físicos trocam informação com a camada MAC. Esta camada é responsável por gerir a função Hybrid ARQ que é um nível de repetição automática de transporte de blocos. Estes canais representam os serviços de transferência de dados oferecidos pela camada física e são definidos pela forma como a informação é transportada, pelas diferentes modulações da camada física e como são codificados. O LTE especifica os seguintes canais de transporte [8]:

- *Broadcast Channel* (BCH): Usado para difusão dos parâmetros da rede;
- *Downlink Shared Channel* (DL-SCH): Transporta os dados do utilizador para uma ligação do tipo ponto-a-ponto, informação que é destinada apenas a um UE no estado RRC_CONNECTED;
- *Paging Channel* (PCH): Transporta informação de *paging* para o UE, para que este passe do estado RRC_IDLE para RRC_CONNECTED na sequência de um pedido da rede;
- *Multicast Channel* (MCH): Usado para transportar dados dos utilizadores ou informação de controlo em *multicast*;
- *Uplink Shared Channel* (UL-SCH): Canal usado para transportar dados e informação de controlo dos móveis em *uplink*;
- *Random Access Channel* (RACH): Usado para acesso aleatório dos móveis à rede, quando estes não se encontram sincronizados.

2.1.6 Canais Lógicos

Os canais lógicos existem no topo da camada MAC, assegurando a troca informação com a camada RLC. Estes representam os serviços de transferência de dados oferecidos pela camada MAC e são definidos pelo tipo de informação que transportam. Podem ser divididos no plano de controlo, pelos canais de controlo que asseguram toda a sinalização, e no plano do utilizador, pelos canais de tráfego que transportam os dados finais. Mais uma vez, a *standard* define os seguintes canais lógicos de controlo [8]:

- *Broadcast Control Channel (BCCH)*: Canal de *downlink* para difusão de informação de sistema da rede;
- *Paging Control Channel (PCCH)*: Canal de ligação descendente que transmite informação de *paging*. Este é usado quando a rede não sabe a localização do UE;
- *Common Control Channel (CCCH)*: Usado para comunicar informação de controlo em ambos os sentidos quando não existe uma ligação RRC entre o UE e a rede;
- *Multicast Control Channel (MCCH)*: Transmite informação em *multicast*;
- *Dedicated Control Channel (DCCH)*: Canal ponto-a-ponto bidireccional dedicado que transmite informações de controlo entre o UE e a rede. Usado pelos móveis que têm uma conexão RRC.

Canais de tráfego:

- *Dedicated Traffic Channel (DTCH)*: Usado para transportar os dados do utilizador tanto em ambos os sentidos, quando o UE se encontra no modo dedicado;
- *Multicast Traffic Channel (MTCH)*: Usado para transporte de dados do utilizador para serviços multimédia *Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)* em *downlink*.

A Figura 2.6 apresenta o mapeamento dos canais nas diferentes camadas. Os canais *multicast* a cinzento não estão especificados no *Release 8* da norma LTE, aparecendo na *Release 9*.

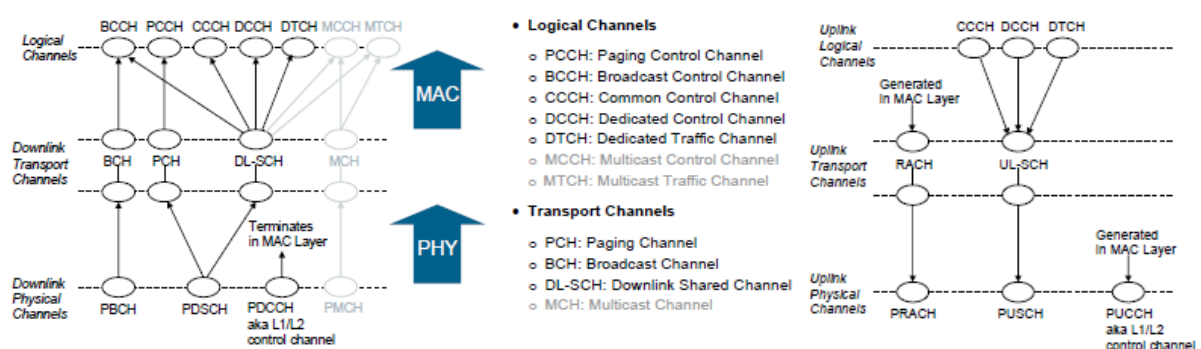


Figura 2.6 – Mapeamento dos canais nas três camadas, em downlink e uplink [8].

2.1.7 Modos de *Duplexing*

No LTE, a interface rádio tanto suporta o modo *Frequency Division Duplex* (FDD) como o modo *Time Division Duplex* (TDD), cada um com a sua própria estrutura de *frame*. Modos adicionais podem ser considerados, sendo que o *Half-Duplex* FDD permite uma partilha de *hardware* entre *uplink* e *downlink* desde que ambos os sentidos não sejam usados em simultâneo. Esta técnica permite uma redução de custos mas reduz para metade das taxas de dados.

Esta interface também suporta MBMS, uma tecnologia recente para conteúdos de difusão, como a TV digital para o UE. O LTE veio especificar um serviço mais avançado, *evolved* MBMS (eMBMS), que opera em *multicast/broadcast* numa rede de frequência única [7].

2.1.8 Tecnologias de Acesso Múltiplo

Nesta nova geração, o acesso rádio é baseado em *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) na ligação *downlink* e em *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) na ligação contrária, em *uplink*. Estas técnicas são adequadas para operação em banda flexível, permitindo aos operadores implementar a rede em diferentes regiões com diferentes bandas de frequências e largura de banda disponíveis [9].

- ***Downlink* – OFDM**

Esta técnica de transmissão digital é baseada no conceito de modulação com sub-portadoras, o que permite atingir elevadas taxas de transmissão. Os dados a transmitir são enviados de um modo paralelo em diversas sub-portadoras com uma frequência atribuída a cada uma de modo a permitir que estas sejam ortogonais entre si. Esta característica permite um bom desempenho em ambientes rádio propícios a atrasos e a fortes reflexões originadas por multi-percurso. Cada sub-portadora terá um débito de símbolo relativamente baixo e, correspondentemente, um longo tempo de símbolo, minimizando assim a interferência inter-simbólica, *Intersymbol Interference* (ISI). Apesar das vantagens, o facto de existirem sub-portadoras ortogonais torna este sistema mais sensível a desvios de frequência. Um símbolo OFDM corresponde ao conjunto de símbolos transportado por todas as sub-portadoras durante o tempo de duração de um símbolo. A Figura 2.7 ilustra de forma simples as várias dimensões de um sinal OFDM.

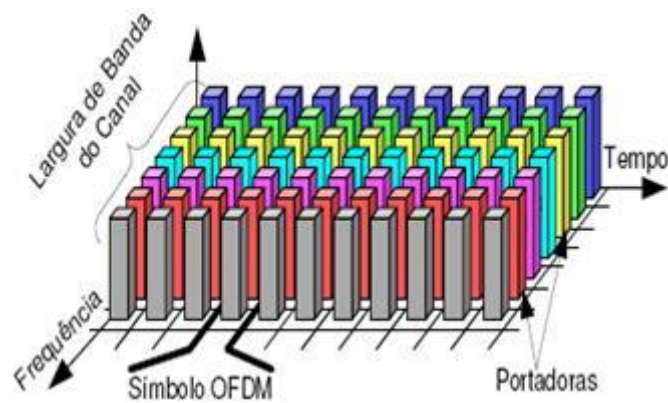


Figura 2.7 – Técnica de modulação OFDM [10].

O esquema de acesso múltiplo em *downlink* é baseado em *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), uma extensão do OFDM para comunicações em sistemas multi-utilizador. Neste esquema, as sub-portadoras resultantes de um símbolo OFDM podem ser distribuídas por vários utilizadores ao mesmo tempo, permitindo que estes sejam escalonados para receber dados simultaneamente. Cada sub-portadora é modulada com um esquema de modulação convencional em quadratura, *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), como *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), 16-QAM ou 64-QAM [7].

- **Uplink – SC-FDM**

Na ligação ascendente é utilizado *Single Carrier Frequency Division Multiplexing* (SC-FDM) como esquema de multiplexagem. A escolha desta técnica, que tem como extensão a SC-FDMA para comunicações em sistemas multi-utilizador, deve-se essencialmente ao facto de possuir uma relação de potência de pico/potência média *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) inferior à técnica de *downlink* OFDM. Devido às características do UE, a redução do PAPR exigiria uma amplificação linear, o que se traduziria num consumo de energia elevado e numa electrónica mais robusta, sendo este o principal factor do uso desta técnica na ligação ascendente.

A forma básica desta técnica pode ser vista como sendo semelhante à modulação QAM, onde cada símbolo é transmitido individualmente. Os símbolos no domínio do tempo são convertidos para o domínio da frequência através da *Discrete Fourier Transform* (DFT) sendo de seguida mapeados para o canal desejado antes de serem convertidos novamente para o domínio do tempo usando a *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Finalmente é introduzido o prefixo cíclico. Por usar esta técnica, a SC-FDM também é conhecida por *Discrete Fourier Transform Spread OFDM* (DFT-SOFDM) [7].

2.1.9 Técnicas Multi-Antena

Um dos aspectos mais importantes em LTE é o conceito de técnicas multi-antena. A utilização de múltiplas antenas pode ter como objectivo o aumento da capacidade e/ou cobertura. Ao serem utilizadas antenas adicionais num sistema rádio, possibilita uma melhoria do desempenho uma vez que o sinal radiado tomará vários percursos físicos. O modo de operação *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) introduziu os conceitos de multiplexagem espacial, *beamforming* e diversidade de transmissão, permitindo aumentar não ritmo de transmissão. A Figura 2.8 representa as quatro diferentes configurações de antenas a usar no canal rádio, *Single-Input Single-Output* (SISO), *Single-Input Multiple-Output* (SIMO), *Multiple-Input Single-Output* (MISO) e MIMO [7].

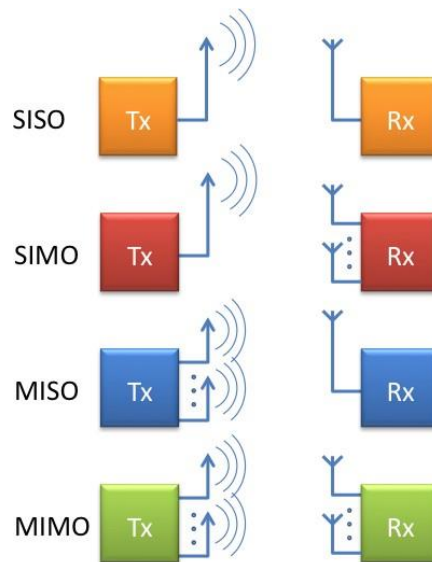


Figura 2.8 – Diferentes Configurações de antenas [11].

A técnica MIMO aumenta a capacidade espectral através da transmissão de múltiplos fluxos de dados simultaneamente na mesma frequência e instante de tempo, aproveitando ao máximo os diferentes percursos no canal rádio. Para um sistema ser descrito como MIMO, deve apresentar pelo menos o mesmo número de receptores como de fluxos de transmissão dados existentes. O número de fluxos de transmissão não deve ser confundido com o número de antenas de transmissão. Como exemplo, identifica-se a diversidade de transmissores (Tx) em MISO, caso em que estão presentes vários Tx mas apenas existe um fluxo de dados. A mesma analogia pode ser feita para a técnica SIMO. É sempre possível existir mais Tx do que fluxos de dados, não se verificando o contrário [7].

No transmissor, vários fluxos de símbolos são gerados, com um determinado grau de redundância, sendo mapeados numa antena do conjunto de múltiplas antenas de transmissão. No receptor, os múltiplos sinais são capturados por uma ou mais antenas e são desmodulados e desmapeados a fim de recuperar a mensagem original.

A multiplexagem espacial consiste no envio simultâneo de diferentes fluxos de dados do utilizador, através de múltiplas ligações em paralelo, de modo a aumentar a capacidade do sistema. Neste mecanismo, um canal MIMO composto por M antenas de transmissão e N antenas de recepção, forma $M \times N$ ligações possíveis, eventualmente estatisticamente decorrelacionadas, entre o emissor e o receptor. Nesta situação é possível fornecer uma protecção $M \times N$ vezes maior ao efeito de desvanecimento multi-percurso em comparação a uma situação de mono antena $M=N=1$ (SISO).

2.2 Self-Organizing Networks

Hoje em dia, nas redes móveis, muitos elementos e parâmetros da rede associados são configurados manualmente. O planejamento, configuração e integração dos mesmos são essenciais para o funcionamento eficaz da rede, no entanto, os custos operacionais associados são significativos, sendo necessário conhecimento especializado, resultando num processo manual demorado e potencialmente propício a erros, provocando uma potencial degradação no desempenho da rede.

Com o aumento da complexidade das redes, com o aparecimento do LTE, tornou-se evidente a necessidade de criar funções capazes de minimizar aquela que é uma das tarefas mais intensas na operação de uma rede móvel, a sua otimização.

Os principais benefícios na implementação deste tipo de técnicas em redes *Wireless* podem-se traduzir em ganhos de eficiência e na redução dos custos operacionais e capitais (OpEx/CapEx) dos operadores. A nível operacional, pretende-se reduzir a intervenção humana em processos de integração de novas estações base, automatizando ao máximo as tarefas envolvidas, como a sua configuração e otimização, reduzindo as hipóteses de erro humano. Do ponto de vista capital, a automatização deste tipo de tarefas, minimiza o número de recursos humanos necessários, e consequentemente os custos inerentes.

O 3GPP começou a trabalhar no sentido de padronizar as capacidades de auto-otimização/gestão para o LTE, nas *Release 8* e *Release 9*. Estes padrões fornecem inteligência à rede, criando automatismos para a sua configuração e otimização, de modo a adaptar-se a diferentes condições de canal de rádio, diminuindo assim os custos, e melhorando o seu desempenho [12].

Assim, a configuração e otimização da rede será cada vez mais uma tarefa para as inteligentes funcionalidades das SON [13].

2.2.1 Arquitectura SON

Os algoritmos de auto otimização podem estar localizados no *Operation Administration and Maintenance* (OAM), nos eNBs ou em ambos. De acordo com a localização dos algoritmos de optimização, a arquitectura SON pode ser dividida em três classes distintas: centralizada, distribuída e híbrida, como demonstrado na *Figura 2.9* [6].

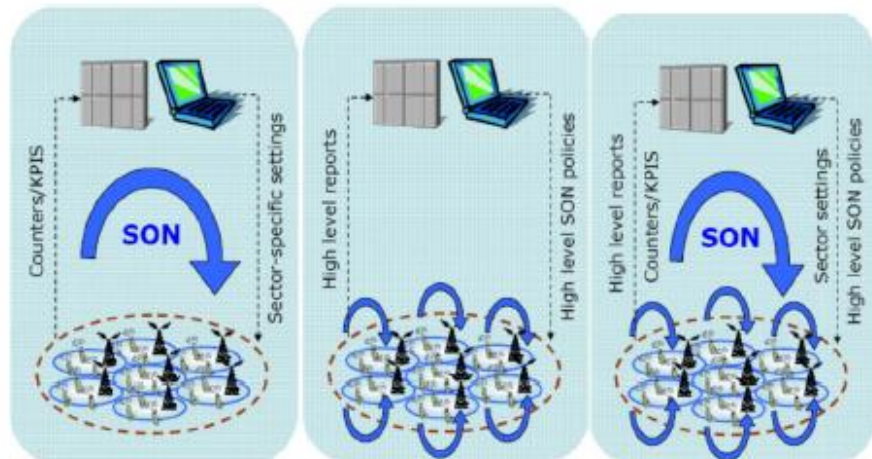


Figura 2.9 – Diferentes arquitecturas SON: centralizada, distribuída e híbrida [12].

- **Arquitectura Centralizada**

Neste tipo de arquitectura, os algoritmos de optimização são armazenados e executados a partir do sistema de OAM, o que constitui a principal vantagem, uma vez é facilitada a implementação de novas funções na rede. Esta arquitectura visa implementar todo um conjunto de funções que implicam a interacção entre vários elementos da rede, como é o caso do *Automatic Neighbor Relations* (ANR) e *Physical Cell Identity* (PCI). Contudo, o aumento do volume de decisões na rede de gestão poderá introduzir atrasos em situações de convergência na rede, o que irá prejudicar o desempenho da mesma. Outra desvantagem é a dificuldade de interacção entre os fornecedores dos sistemas OAM, o que torna esta solução ainda menos desejável [6].

- **Arquitectura Distribuída**

Nesta arquitectura SON, os algoritmos de optimização são executados nos eNB's, necessitando de um grande trabalho de implementação. Esta solução diminui drasticamente a complexidade na rede de gestão, pois todo o processo de convergência passa a ocorrer localmente, a um nível baixo na arquitectura, bastando à mesma manter um registo das alterações que vão sendo feitas na rede. No entanto é difícil suportar esquemas de optimização complexos, que exigem a coordenação de muitos eNB's [6].

• Arquitectura Híbrida

Por fim, na arquitectura híbrida, os algoritmos de optimização complexos são executados no sistema OAM, enquanto os restantes são executados nas estações base. Deste modo é muito flexível suportar diferentes tipos de optimização. Para além disso, esta arquitectura permite a optimização entre equipamentos de diferentes fabricantes através das interfaces X2 [6].

2.2.2 Funções SON

Segundo o *standard* do 3GPP as funções SON podem ser divididas em três partes, *Self-Configuration*, *Self-Optimisation* e *Self-Healing*. A Figura 2.10 ilustra as suas principais funcionalidades.

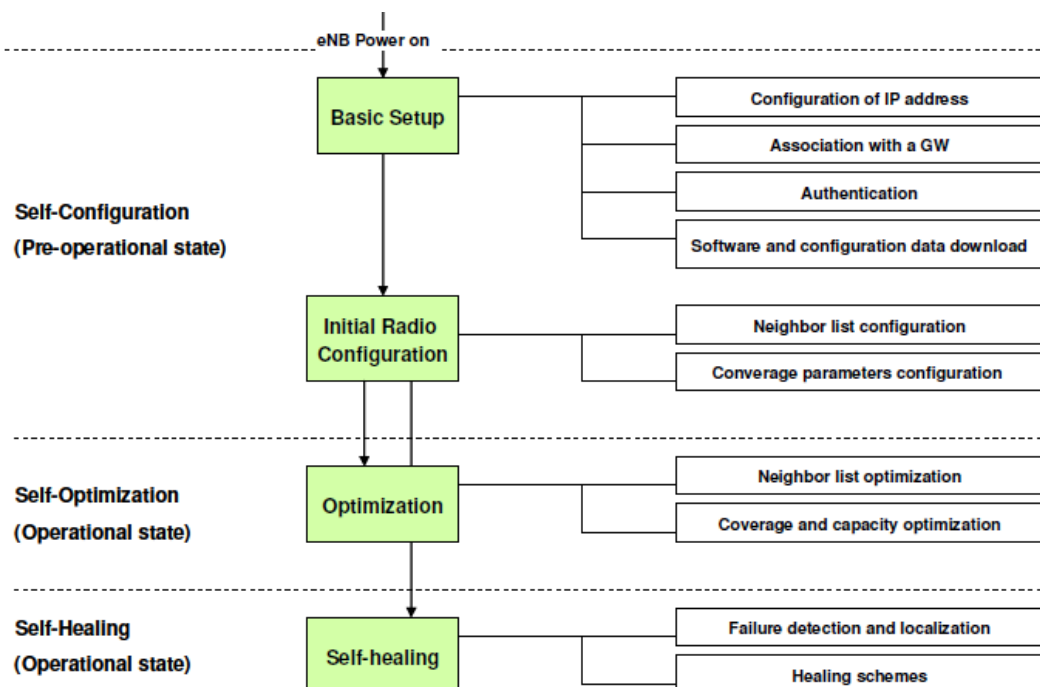


Figura 2.10 – Procedimentos SON [14].

• Self-Configuration

A configuração automática é definida como o processo onde os eNB's recém-implementados são configurados por procedimentos de instalação automática para obter parâmetros básicos e o *software* necessário para a operação. Este processo funciona em estado pré-operacional, e tem início no momento em que o eNB é ligado. Aqui o eNB começa por configurar o seu endereço de IP, estabelecendo uma ligação com um servidor *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), e recebe a informação relativa ao GW e MME a que se encontra ligado [15].

Após a configuração do eNB, dá-se início à segunda fase, com a configuração das relações de vizinhança através do mecanismo de ANR, a ser descrito posteriormente.

- **Self-Optimization**

A otimização automática é um processo onde as medidas do UE e as estatísticas de desempenho do eNB são utilizadas para otimizar a rede. Funciona num estado operacional que começa quando a interface RF é activa. Este processo é periódico, uma vez que a análise de desempenho e as tarefas de parametrização se repetem várias vezes até encontrarem uma configuração óptima que maximize o desempenho da rede do operador. Exemplos típicos são a otimização da lista de vizinhas e da cobertura da célula com o ajuste dos *tilts* das antenas [15].

- **Self-Healing**

Este processo visa a detecção e localização automática da maioria de algumas falhas encontradas na rede e aplica os mecanismos de auto-reparo de modo a resolver várias classes de falhas, como a redução da potência de saída ou *fallback* automático para uma versão anterior do *software*. Monitoriza os alarmes, reúne as condições necessárias relacionadas, faz uma análise profunda e desencadeia acções adequadas de modo a resolver a falha [14] [15].

2.2.3 Automatic Neighbor Relation

No contexto LTE, é necessário configurar a relação de vizinhança automaticamente, tanto quanto possível. Como as redes de novas gerações apresentam maiores complexidades, causam uma série de esforços para configurar as relações de vizinhança através dos métodos tradicionais.

Devido ao tamanho das redes móveis existentes hoje em dia, com várias centenas de milhares de relações de vizinhança para um único operador, é quase impensável manter a configuração e definição de relações de vizinhança de forma manual. Portanto, esta é uma óbvia área de automatização, sendo a função ANR uma das características mais importantes das funcionalidades SON, permitindo remover, ou pelo menos minimizar, a configuração manual das relações de vizinhança quando se insere um novo eNB na rede e proporcionando uma dinâmica actualização na lista de células vizinhas. Isto irá aumentar o número de *handovers* bem-sucedidos e reduzir o número de *dropped calls* devido à falta de relações de vizinhança entre a célula de serviço e a célula de destino [6] [12].

Esta função permite a descoberta e configuração automática das relações de vizinhança, quando um UE se move a partir de um eNB de serviço para outro eNB. Para além disso, também configura a interface X2 entre as estações, utilizada principalmente para o HO.

Existem dois aspectos muito importantes na ANR:

- Em LTE, não é condição necessária a existência de uma lista de células vizinhas, uma vez que a comunicação ao eNB, por parte do UE, das células desconhecidas é rápida o suficiente para ser usada durante a preparação do HO. A função ANR permite à estação base receber medidas de células ainda desconhecidas, criando assim uma relação de vizinhança. De outro modo o HO não seria possível;
- Permite ao eNB solicitar ao UE que faça a identificação completa de uma célula, evitando ambiguidades com os PCI's nas relações de vizinhança.

A relação de vizinhança pode ser descrita numa *Neighbour Relation Table* (NRT). A Figura 2.11 resume esse procedimento.

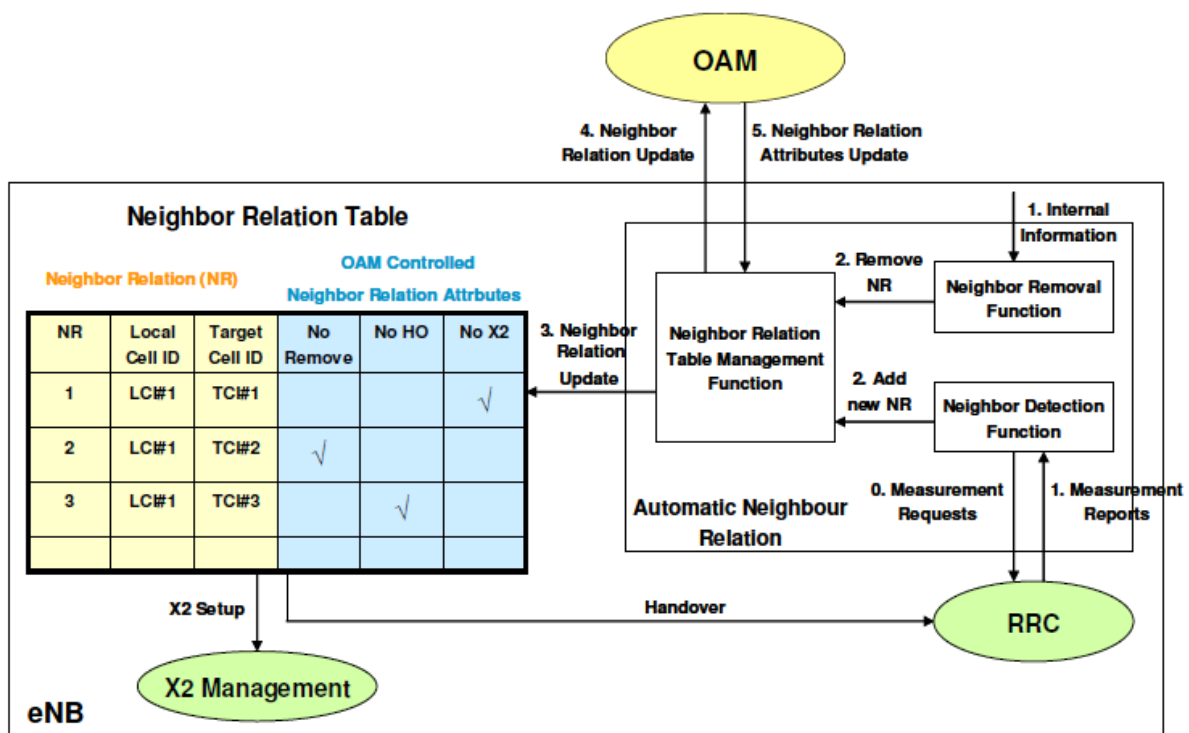


Figura 2.11 – Arquitectura função ANR [14].

Capítulo 3

Mobilidade em LTE

O capítulo 3 permite abordar uma das questões essenciais do projecto, a mobilidade. A utilidade das listas de células vizinhas, bem como a necessidade da sua optimização, deve-se ao processo de HO. São abordados diferentes tipos de HO, intra e inter-frequência, assim como os parâmetros relevantes envolvidos no processo. O modo de operação e execução do HO, bem como a configuração NCL também são analisados.

3.1 Mobilidade

O *Handover* é uma das questões mais críticas em redes móveis, pois permite a continuidade de uma ligação de um terminal móvel quando este está em movimento, ao mesmo tempo que permite o uso eficiente de recursos, como a reutilização de frequências entre as células.

A maioria dos *standards* de redes móveis usam um HO assistido pelo terminal, ou seja, o móvel mede a qualidade do sinal das células vizinhas e reporta o resultado da medição para a célula de serviço. Se a qualidade do sinal da célula reportada for superior à da célula de serviço, a rede inicia o processo de HO.

3.1.1 Intra-LTE HO

O *Handover* Intra-LTE é um mecanismo que permite aos UE's conectados (modo RRC_CONNECTED) se transferirem para células que apresentam melhor nível de sinal, garantindo, assim, que os terminais são sempre servidos pela célula com melhor nível de sinal. No estado RRC_IDLE é o UE quem assume o controlo no processo de reSeleção de célula. Os terminais nas fronteiras das células recebem um sinal fraco proveniente da célula de serviço, sendo muito importante este processo de transferência, o que assegura a mobilidade dos mesmos. Isto é conseguido devido à lista de células vizinhas e a uma boa configuração dos parâmetros de HO. Este processo permite que a capacidade da rede e os débitos individuais dos utilizadores sejam maximizados, uma vez que os móveis são servidos pela melhor célula. O intra-LTE HO é gerido pelo eNB. A célula de serviço (*source* eNB) e a de destino (*target* eNB) comunicam através de uma ligação X2, caso exista entre ambas. Caso contrário a estação base comunica através do MME por uma ligação S1 [16].

Segue-se um exemplo simplificado do modo como o eNB de serviço gere o intra-LTE HO. Assim, o eNB:

- Configura o UE;
- Recebe relatórios de medidas do equipamento terminal;
- Selecciona a célula de destino com base nas medidas recebidas;
- Prepara a célula de destino para o HO, recebendo informações sobre os recursos da mesma reportados pelo móvel;
- Liberta os recursos atribuídos ao UE após a confirmação de HO bem-sucedido.

O HO intra-LTE é despoletado pelo evento do tipo A3 conforme definido na norma 3GPP [17]. Este evento implica que uma ou mais células vizinhas se tornem melhores, com melhor nível de sinal, do que a célula de serviço tendo em conta os valores de histerese e *offset* de HO. O processo utilizado pelo equipamento terminal para avaliação das células vizinhas utiliza parâmetros enviados pelo eNB de serviço ao terminal móvel. Estes parâmetros incluem valores de histerese e *offset* de HO, *time-to-trigger* e opcionalmente margens individuais de *offset* [16].

O equipamento terminal pode realizar dois tipos de medidas nas células vizinhas, reportadas ao eNB, sendo que o processo de HO se pode basear numa das seguintes [16]:

- *Reference Signal Received Power* (RSRP);
- *Reference Signal Received Quality* (RSRQ).

Existem três tipos de procedimentos de mobilidade para o HO intra-LTE [16]:

- Intra-eNB – Quando ambas as células de origem e destino pertencem à mesma estação base;
- X2 Inter-eNB – Usado principalmente quando existe uma interface X2 entre as células de origem e destino. Ambas devem estar conectadas ao mesmo MME;
- S1 Inter-eNB – Usado principalmente quando não existe uma interface X2 entre as células. As células podem estar conectadas ao mesmo ou a diferentes MME's.

Os processos de HO X2 e S1 diferem principalmente no tipo de sinalização trocada com a rede core. A interface S1 liga o eNB ao MME para o plano de controlo e ao SGW para o plano de utilizador. Já a interface X2 liga o eNB à sua célula vizinha para ambos os planos [16].

3.1.2 Modo de Operação

O processo de *handover* intra-LTE opera do seguinte modo [16]:

- eNB de serviço configura o UE para as medições;
- Quando o RRC CONNECTION SETUP está completo, o UE monitoriza o RSRP da célula de serviço. Quando este nível de sinal desce abaixo do limiar estabelecido, o terminal começa com as medições RSRP ou RSRQ nas restantes células adjacentes. O UE envia um relatório de medidas periódico quando uma ou várias células intra-frequência possuem melhor nível de sinal do que a de serviço, tendo em conta os parâmetros definidos de histerese e *offset* de HO e o *time-to-trigger*;

- Quando o relatório de medidas é recebido pelo eNB de serviço, o processo de intra-LTE HO tem início. A estação analisa os relatórios de medidas e, posteriormente determina o HO para a célula candidata mais adequada, definida como célula *target*. Ambas as células comunicam de modo a preparar a tentativa de HO;
 - Se o eNB *target* for capaz de aceitar o pedido de HO, envia a informação sobre os recursos atribuídos para o eNB de serviço, que a encaminha para o UE. Por sua vez, o UE tenta efetuar HO para a célula *target* usando os recursos que lhe foram atribuídos;
 - Caso contrário, o eNB *target* envia uma mensagem de erro na preparação de HO para a célula de serviço. Quando isto acontece, o eNB de serviço aguarda por um novo relatório de medidas, seguindo-se o mesmo processo. O parâmetro *minBestCellHoAttempts* indica quantas tentativas de HO podem ser executadas numa célula antes de escolher a próxima. Caso não existam células candidatas ao HO, a ligação do UE permanece à célula de serviço;
- O fluxo de dados do plano de utilizador do SGW é redireccionado para o eNB *target*, uma vez que o UE concluiu o processo. O eNB de serviço original é então informado do sucesso do HO e liberta os recursos atribuídos ao terminal móvel.

3.1.3 Configuração das Medidas

O eNB de serviço envia ao UE a informação relacionada com frequência a que este deve realizar as medidas. Por omissão, em redes LTE, o UE detecta células vizinhas adequadas ao HO, com base no PCI, sem consultar uma NCL enviada pelo eNB, ao contrário de tecnologias anteriores.

As medidas, tanto nas células vizinhas como na de serviço, são iniciadas quando o RSRP atinge um valor abaixo do valor definido no parâmetro *sMeasure*. Estas medidas realizadas pelo UE são possíveis devido à detecção de células adjacentes através de uma pesquisa intra-frequência.

O UE usa medidas de RSRP ou RSRQ para determinar se a condição EventA3 é cumprida, utilizando para tal um valor médio de modo a filtrar o impacto do desvanecimento rápido de larga escala. O parâmetro *triggerQuantityA3* é útil para configurar qual dos níveis de sinal referidos é o usado para desencadear o EventA3. Podem existir diferentes valores para os filtros, configurados nos parâmetros *filterCoefficientEUltraRsrp* e *filterCoefficientEUltraRsrq* [16].

Posteriormente, o UE utiliza os valores de *offset* (*a3offset*) e histerese (*hysteresisA3*) de HO, bem como o *time-to-trigger* (*timeToTriggerA3*) de modo a determinar se deve desencadear o EventA3. O parâmetro *cellIndividualOffsetEUTran* é aplicado individualmente a cada célula vizinha com fins de gestão de carga. Quanto maior o valor atribuído a uma célula vizinha, mais prioridade terá. Este parâmetro é opcional e só pode ser utilizado caso a lista de vizinhas for transmitida em SIB4 ou numa mensagem de *RRC connection reconfiguration*. A Figura 3.1 ilustra os parâmetros de HO [16] [18].

Assim, o EventA3 será desencadeado quando se verificar a seguinte expressão durante o *timeToTriggerA3*: [16]

$$RSRP_{target} > RSRP_{serving} + a3offset + hysteresisa3 - cellindividualOffsetEUTran \quad (3.1)$$

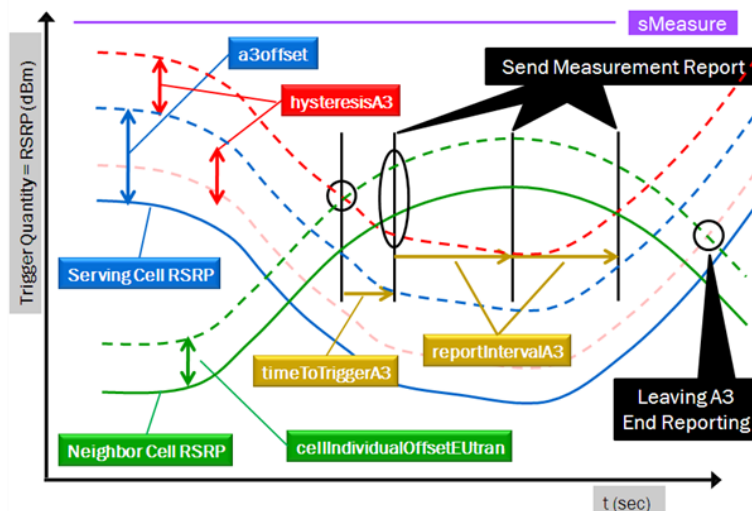


Figura 3.1 – Parâmetros de handover [18].

As medidas são enviadas periodicamente enquanto a condição EventA3 é cumprida. Após o término do *timeToTriggerA3*, se o UE não receber uma mensagem de *RRC connection reconfiguration message (handover command)* do eNB, é activado o temporizador *reportIntervalA3* que determina o intervalo de tempo entre os relatórios de medidas. O parâmetro *reportAmountA3* indica o número de relatórios a enviar, um valor de 0 indica que os relatórios são enviados por tempo indeterminado, enquanto a condição EventA3 é cumprida [16] [18].

3.1.4 Execução de Handover

O eNB que está a servir o UE em determinado instante inicia o processo de avaliação da melhor célula *target* quando os relatórios das medidas efectuadas pelo UE são recebidos. O processo executa a selecção da células de destino e a preparação do HO. Este proceso mantém uma lista das células candidatas classificadas pelo UE com base nos relatórios de medidas.

Quando um EventA3 é recebido o eNB envia um pedido ao eNB de destino de disponibilização de recursos. As estações trocam sinalização através da interface X2, se existir, ou pela interface S1 e pelo MME. A célula de destino realiza um *Admission Control* e se estiver apta para aceitar o HO, reserva os recursos pedidos pelo terminal, comunicando ao eNB de serviço.

Ao receber uma resposta positiva para o pedido de transferência de célula, o eNB envia a reconfiguração da ligação para o UE, através da mensagem *RRC ConnectionReconfiguration* e suspende a transmissão ao mesmo. Depois de se sincronizar com célula de destino, o UE envia uma mensagem de *RRC ConnectionReconfigurationComplete*. De seguida o eNB de destino notifica o MME que o HO foi efetuado com sucesso, e este, juntamente com o SGW, alteram a portadora para o novo eNB, tornando-o o eNB de serviço [16].

Quando o eNB recebe um relatório de medidas válido, verifica as identidades das células relatadas (PCIs) na sua lista de células vizinhas. Se a identidade da célula for desconhecida, o relatório correspondente é descartado e o PCI desconhecido é relatado para a função ANR para uma possível actualização da lista de vizinhas da célula. Este processo requer que o UE obtenha o *Cell Global Identity* (CGI) da célula desconhecida para que a interface X2 e respectiva relação de vizinhança sejam criadas e o HO realizado [16].

A Figura 3.2 ilustra o processo de HO, onde estão visíveis todas as mensagens trocadas num HO Intra-LTE, Inter-eNB.

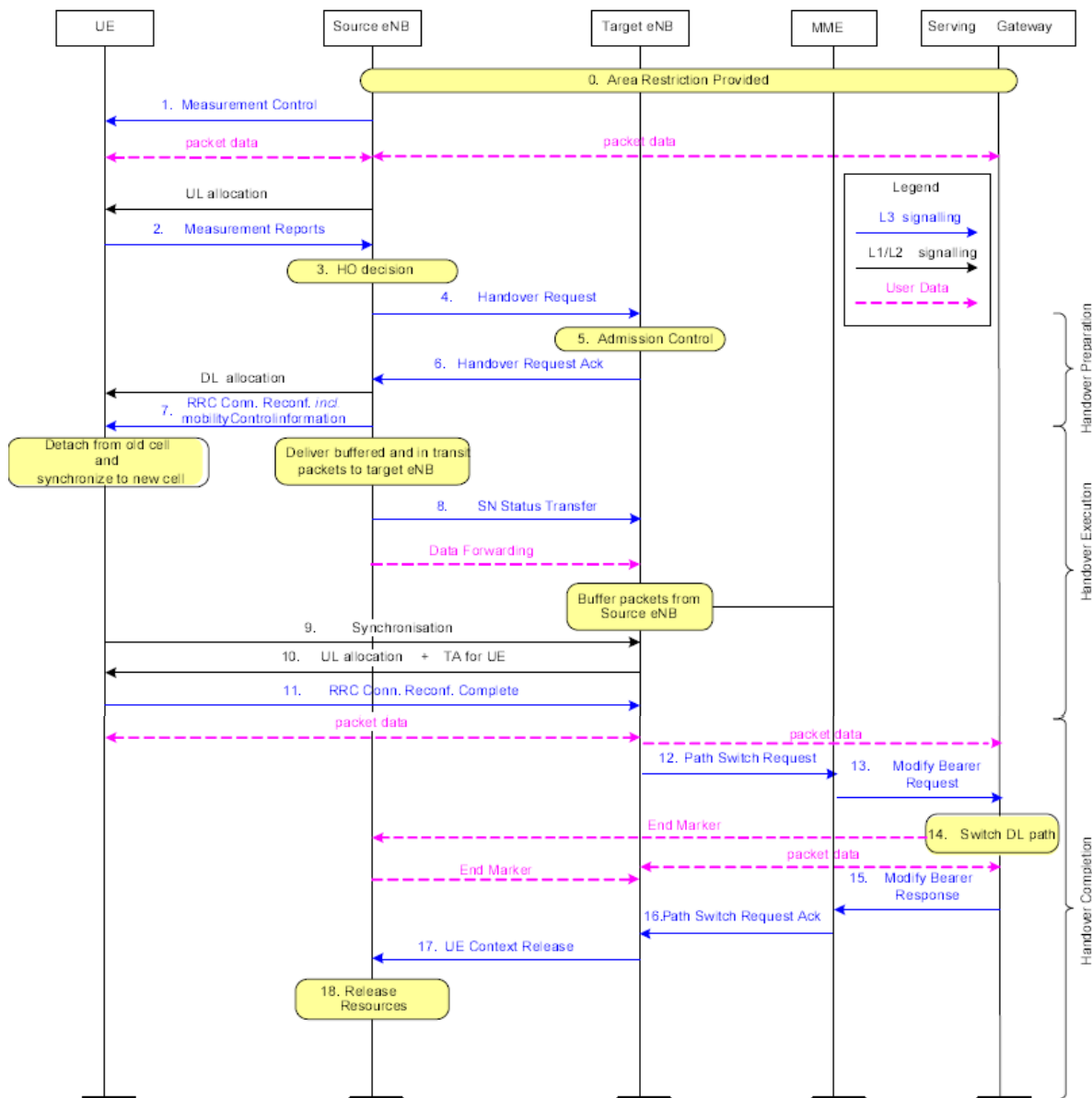


Figura 3.2 – Mensagens trocadas num intra-LTE HO [19].

Se o HO é acionado muito cedo, o *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) da célula de destino pode ser muito fraco quando este ocorre. Deste modo, a configuração das margens de HO e do *time-to-trigger* são essenciais para evitar situações de *ping-pong*. Este comportamento aumenta a sinalização, o risco de fracasso e diminui o *throughput*. Estes parâmetros podem variar de célula para célula e de ambiente para ambiente. A optimização dos parâmetros pode ser baseada nas medidas efectuadas pelos UEs e nas estatísticas da rede. Outro factor importante é a sobreposição da área de cobertura das células. Quando a sobreposição entre as células é pouca, o HO pode falhar, pelo contrário, quando existe muita sobreposição, pode existir interferência e uma redução do *throughput* na fronteira da célula [16].

3.1.5 Parâmetros de HO

O Intra-LTE HO é um mecanismo para os UEs executarem transferência para um eNB com melhor nível de sinal. Com a reutilização de frequência de 1/1, e uma rede muito carregada, os UE's nas fronteiras das células possuem um SINR baixo. O objectivo é garantir que as células com melhores condições são sempre usadas para *throughputs* máximos. Isto é conseguido através do controlo da sobreposição de células adjacentes, parâmetros de HO e listas de vizinhas. Os parâmetros chave relacionados com o desencadeamento do EventA3 podem ser consultados na Tabela 3.1 [16].

Tabela 3.1 – Parâmetros de intra-LTE HO [16].

Parâmetro	Descrição
a3offset	Faz com que a célula de serviço aparente melhor sinal que a medida real, em comparação com a célula vizinha.
hysteresisA3	Faz com que a medida da célula vizinha aparente sinal mais fraco para garantir que tem um nível de sinal mais forte antes do UE decidir enviar o relatório de medidas ao eNB para iniciar o HO.
timeToTriggerA3	Tempo que o critério EventA3 tem que ser cumprido antes do primeiro relatório de medidas ser enviado. Evita o efeito <i>ping-pong</i> .
cellindividualoffsetEutran	Este parâmetro é aplicado individualmente a cada célula vizinha com fins de gestão de carga. Só pode ser usado se a lista vizinha for transmitida ao UE.

Para um sistema de baixa carga [16]:

- $a3offset = 0 \text{ dB}$
- $hysteresisA3 = 4 \text{ dB}$
- $timeToTriggerA3 = 40 \text{ msec}$

Para uma carga superior, os valores dos parâmetros devem ser definidos de acordo com a recomendação geral [16]:

- $a3offset = 3 \text{ dB}$
- $hysteresisA3 = 1 \text{ dB}$

A margem total de HO entre duas células é dada pela soma do $a3offset$ e da $hysteresisA3$. Os parâmetros podem ainda ser regulados com base no raio de célula e na velocidade do UE.

3.2 Neighbor Cell List

O objectivo da lista células vizinhas é auxiliar os terminais móveis a encontrar um valor de HO *target* adequado. Uma célula vizinha é considerada com um HO target adequado para um terminal, se a sua a qualidade do sinal medido pelo móvel for superior do que um determinado limiar.

A configuração e a gestão de uma lista de células vizinhas é uma das questões mais importantes para assegurar uma perfeita mobilidade dos UEs numa rede LTE. Para o processo de HO, a célula de serviço possui uma interface de ligação directa com a de destino, e as mensagens são trocadas através da mesma de modo a preparar a sua execução. Cada eNB contém uma lista com as células de destino, NCL, de modo a conectar a interface entre eNBs.

Nos sistemas tradicionais, essa NCL é configurada manualmente e carregada numa estação base. Por outro lado, em sistemas LTE com funcionalidades SON, é suposto cada eNB configurar e gerir a NCL de forma autónoma. Em primeiro lugar, quando um eNB é inserido na rede, a lista inicial tem de ser configurada sem qualquer cooperação com UEs uma vez que, inicialmente, não existem quaisquer terminais activos pertencentes à nova estação. Em segundo lugar, a NCL necessita de ser actualizada constantemente com base na alteração da topologia de rede, recolhendo a informação a partir das medidas dos terminais.

Um atraso no HO é mais grave quando o terminal tenta comutar para uma célula que não se encontra na lista. Uma vez que a cobertura das células se altera com a implementação de um novo eNB, existirão tentativas de HO para a estação recém-criada na rede, sendo a configuração inicial da NCL necessária para evitar o problema do atraso do HO para a nova célula [20].

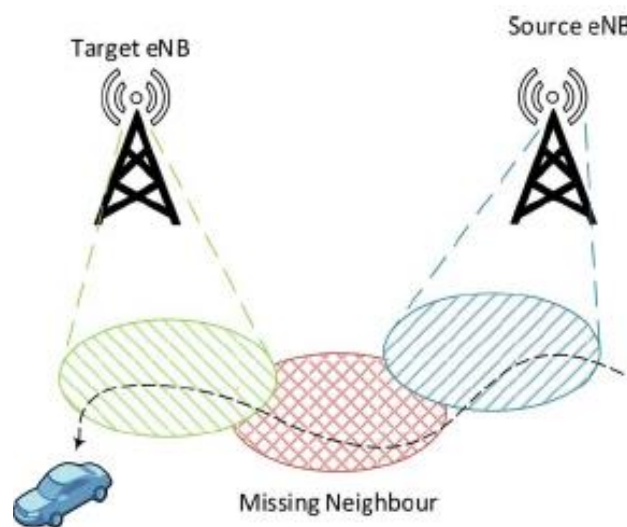


Figura 3.3 – Exemplo de falha de HO por ausência de célula vizinha.

A configuração de uma NCL pode parecer simples, bastando verificar a área de serviço da célula fonte e seleccionar todas as células que se sobrepõem a esta. No entanto não é assim tão simples na realidade. A dificuldade deve-se principalmente ao facto de que a cobertura rádio verdadeira é desconhecida, uma vez que depende largamente o meio ambiente. Por exemplo, a presença de edifícios, árvores e objectos em movimento não previstos no planeamento da rede, têm efeitos sobre a cobertura, podendo criar zonas com nível de sinal fraco, conhecidos como buracos de cobertura.

Vários sistemas de gestão NRT em LTE foram desenvolvidos. Kim propôs uma *self-configuration* de uma NRT fazendo um *scan* às frequências da rede em cada eNB [20]. Amirijoo desenvolveu um algoritmo de *self-configuration* NRT usando as medições dos UEs [21]. Desenvolveu também um sistema automático para a resolução de conflitos de PCIs.

3.2.1 NCL Óptima

A condição básica de relação vizinhança para as células é quando a cobertura das mesmas se sobrepõem, formando uma região de HO. Num ambiente de células sectorizadas, os sectores pertencentes ao mesmo eNB estão na relação de vizinhança. A NCL ideal consiste nas células que satisfaçam a condição descrita acima.

O atraso é causado quando existe uma tentativa de HO para uma célula vizinha que não está incluída na NCL, podendo provocar quedas de chamadas quando o utilizador se desloca a uma velocidade elevada. No entanto, se a lista incluir todas as células que não são consideradas vizinhas, resulta numa sobrecarga desnecessária para a rede com a criação das interfaces entre as estações. A NCL deve conter um número suficiente de potenciais células vizinhas de modo a assegurar que qualquer terminal na célula de serviço encontre pelo menos uma célula de destino quando seu sinal se deteriora. Deste modo, tem-se como objectivo criar uma NCL óptima, curta, que maximize a probabilidade de encontrar um HO para uma célula de destino em qualquer localização da célula que serve o terminal móvel [20].

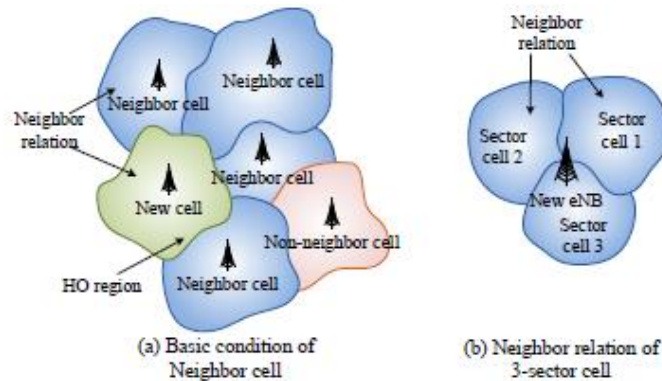


Figura 3.4 – Conceito de condição de célula vizinha [20].

3.2.2 Optimização da NCL

Actualmente, a NCL ainda é configurada manualmente na criação da rede por meio de ferramentas de planeamento, sendo actualizada quando novas células são instaladas. Durante a configuração manual da cobertura da célula e das suas relações de vizinhança, está previsto o uso de informações, como a localização das estações base, os parâmetros das antenas e mapas de sinal recebido, obtido através de *drive tests* ou *reports* dos terminais. Devido à sensibilidade do canal rádio a alterações do ambiente, estas informações deixam de ser exactas, sendo necessário actualizar as NCLs recorrentemente.

Um elemento-chave da configuração da lista de células vizinhas é o nível de fiabilidade relativamente à cobertura da célula. Numa rede real, a melhor forma de obter informações precisas sobre a cobertura é realizando medições de forma contínua dos níveis de sinal. Esta tarefa cabe aos terminais móveis, reportando as medidas à célula de serviço. As medidas reportadas pelos UEs, como o RSRP e RSRQ, são usadas por algoritmos de auto optimização de modo a actualizar continuamente a lista de células vizinhas. Em LTE, a configuração e actualização da lista de células vizinhas varia com a utilização da função ANR, quando se encontra activa ou não activa.

- **ANR Não Activa**

Sem o uso da função ANR, a configuração da lista de células vizinhas deve ser feita da forma tradicional. Isso envolve o uso de medidas reportadas pelo UE ao eNB de modo a monitorar as relações de vizinhança necessários para manter uma óptima mobilidade. Relações de vizinhança não identificadas durante o planeamento da rede devem ser adicionadas, mantendo o limite máximo da lista de vizinhas. Não é esperado que o limite máximo da NCL seja atingido numa rede optimizada, podendo haver necessidade de remover relações de vizinhança menos utilizadas.

- **ANR Activa**

Com esta funcionalidade activa, é possível, de uma forma automática, adicionar e remover relações de vizinhança. O operador pode controlar situações de *overshooting* de células, células com muita carga de UEs e relações de vizinhança que resultam muitas vezes em quedas de chamadas.

Capítulo 4

Algoritmo de Optimização da Lista de Vizinhas

No quarto capítulo é elaborada uma descrição do modo como o algoritmo foi desenvolvido, bem como a estratégia utilizada na configuração e otimização das listas. São apresentados os critérios de decisão usados na implementação da nova NCL, um baseado na distância e orientação dos sectores em relação à célula de serviço, outro com base nas estatísticas de rede, e, por último, um critério baseado nas medidas de nível de sinal obtidas por *drive test*. Por fim, é apresentado o modo como se juntam os três critérios de modo a obter uma lista otimizada com uma maior fiabilidade.

4.1 Proposta de Algoritmo

A estratégia base para a elaboração do trabalho encontra-se representada na Figura 4.1.

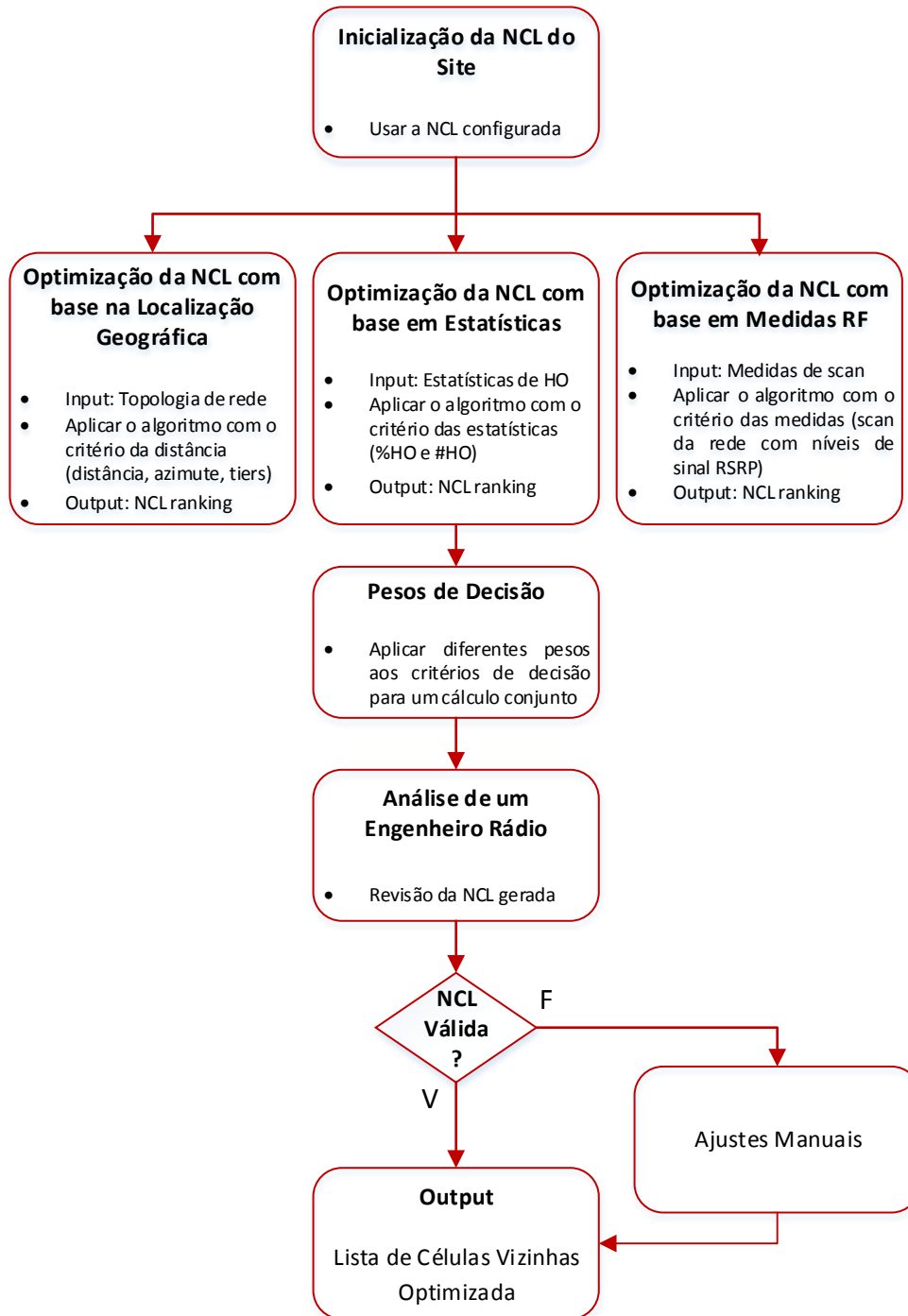


Figura 4.1 – Esquema da proposta de algoritmo.

Como *inputs*, já referidos em outros capítulos, tem-se a topologia de rede existente contendo a localização geográfica de cada estação, a configuração e orientação das antenas, bem como os respectivos identificadores e PCIs. Outro *input* importante é a configuração inicial da NCL de cada *site*, com todas as relações de vizinhança estabelecidas. Por fim, também como parâmetros de entrada são utilizadas as medidas de *scanner* obtidas por *drive test* com níveis de RSRP em várias localizações, e os dados de *Performance Management* (PM), estatísticas de HO da rede entre todas as relações de vizinhança num dado período de tempo.

Como ponto de partida, caso exista, é obtida a lista de células vizinhas real, previamente estabelecida. Esta foi disponibilizada em formato Excel® e é processada pela ferramenta de trabalho, de modo a reduzir substancialmente o tempo de processamento do algoritmo e facilitando o acesso aos dados. Como segundo ponto, tem-se a definição de três critérios de decisão.

O primeiro critério é baseado na localização geográfica das estações. Aqui é atribuído um *ranking* a cada estação em função da distância e orientação relativamente ao sector em análise, sendo elegíveis para a nova lista apenas os sectores que se encontrem orientados para a área de serviço da célula fonte.

Outro dos critérios baseia-se nas estatísticas de HO existentes entre todas as relações de vizinhança do eNB analisado. Este critério permite manter ou remover células da lista antiga que apresentem um número absoluto e/ou percentagem de HO realizados entre as estações acima ou abaixo de determinados limiares. Como é baseado apenas em estatísticas da rede implementada, não permite a adição de novas células. A informação é obtida, mais uma vez, através de um ficheiro Excel®, sendo processado de forma semelhante ao da lista de vizinhas original. Aqui é elaborado um *ranking* com base no número de HO, sendo classificada com o valor máximo a célula que apresenta o maior número de HO.

O terceiro critério baseia-se nas medidas RF presentes na área de serviço da célula de origem. Estas medidas são disponibilizadas numa base de dados, acessível pela ferramenta através do SQL Server®. Novamente é definido um *ranking* a cada sector, com base na existência de *overlap* entre as células. Quanto maior for essa percentagem, maior será o *ranking* atribuído, uma vez que essa célula tem mais probabilidade de absorver HO.

Posto isto, existe a possibilidade de atribuir um peso distinto a cada critério. Deste modo, pode-se utilizar o método desejado ou os três em simultâneo, obtendo uma lista de vizinhas final mais fiável, atribuindo um *ranking* médio a cada célula.

Como resultado final, obtém-se uma lista de vizinhas optimizada, tendo em conta vários aspectos da rede real, limitada a uma dimensão máxima (NCL Size) introduzida pelo utilizador. Todo o processo ganha interesse se, por fim, for analisado por um engenheiro rádio, tanto visualmente num ficheiro KML em Google Earth[®] como através de um relatório gerado em Excel[®], verificando o desempenho da rede, e procedendo a alguns ajustes se necessário.

4.1.1 NCL Inicial

Para a optimização da NCL de um dado eNB   necessário obter previamente a configuração da lista de células vizinhas implementada. Esta foi facultada pelo operador em formato Excel[®], já referido anteriormente, tendo o aspecto da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Rela es de vizinhança iniciais.

CELL_REF	N_CELL_REF	ENB_REF	N_ENB_REF	USER_LABEL	CELL	FREQ	ADJACENT_CGI
10001	20001	1000	2000	OAA1000	1	1800	1000-1_2000-1
10001	20051	1000	2005	OAA1000	1	1800	1000-1_2005-1
10001	20042	1000	2010	OAA1000	1	1800	1000-1_2004-2
10001	20043	1000	2004	OAA1000	1	1800	1000-1_2004-3

O Cell_Ref de origem, composto pelo identificador do eNB e pelo número do sector, o Neighbor Cell_Ref que segue a mesma lógica, a frequência da célula de destino e a rela o de vizinhança estabelecida, ADJACENT_CGI, são os parâmetros necessários. Este ficheiro é lido pela ferramenta de trabalho, convertido numa *data table*, o que permite um tempo de processamento dos dados extremamente inferior. Sobre a *data table* são então elaboradas *queries* obtendo-se a antiga NCL para cada eNB que se pretende optimizar. Esta lista de vizinhas serve então de comparação com a nova lista optimizada, de maneira a fazer uma análise das células que são adicionadas, mantidas ou removidas.

4.1.2 Critérios de Decisão

Para a implementa o do algoritmo foram considerados três diferentes critérios de decisão. O primeiro e também mais importante, baseado na localiza o geográfica, permite adicionar à nova lista todos os sectores até uma distância máxima colocada como parâmetro de entrada. No entanto, tem-se em considera o a orienta o do mesmo, ou seja, apenas são adicionados os sectores de destino devidamente orientados para a área de serviço da célula fonte, evitando, deste modo, rela es de vizinhança desnecessárias. O conceito de anéis de interferência (*tiers*)   considerado neste critério.

Outro dos critérios de decisão baseia-se nas estatísticas de HO efectuados, com e sem sucesso, entre as relações de vizinhança presentes na antiga NCL. Permite a remoção de células que apresentem uma taxa ou um número absoluto de HO abaixo dos limiares introduzidos. Por fim, desenvolveu-se um critério que assenta nas medidas de *scan* da rede obtidas por *drive test*. Este permite adicionar células com um bom nível de sinal (acima de um determinado limiar RSRP_min colocado como parâmetro) com base nas medidas analisadas da célula de serviço.

Contrariamente, também permite a remoção de células caso apresentem, nas mesmas condições, níveis de sinal abaixo do exigido. De modo a obter um algoritmo de optimização da NCL completo e bem fundamentado, apresenta-se uma proposta conjunta dos critérios de decisão acima descritos, em que é elaborado um *ranking* médio com base em pesos atribuídos a cada um deles.

- **Critério baseado na localização geográfica**

Este critério é baseado na posição geográfica e na orientação de cada célula *target* em relação à célula de serviço. Deste modo, é possível criar uma lista de células vizinhas apenas com os sectores que se encontram orientados para a área de serviço da célula fonte, evitando desnecessárias relações de vizinhança.

De modo a reduzir o tempo de processamento do algoritmo, todos os eNBs são ordenados numa lista, do mais próximo ao mais longínquo em relação ao *source*. Esta distância é obtida com base nas suas coordenadas geográficas. Assim, tanto as estações mais distantes, com distâncias superiores a 30 km (valor ajustável), como as de frequência diferente, para uma análise intra-frequência, não são consideradas. Posto isto, é calculada a distância entre as células, elaborando um *ranking* de proximidade para cada célula de destino, calculado simplesmente pelo inverso da distância à célula fonte.

Posteriormente é definido o primeiro anel de interferência, ou seja, seguindo a teoria de planeamento rádio hexagonal, são consideradas as seis células mais próximas da fonte. Estas, como também os restantes sectores que compõe a estação, devem constar na NCL. Este cálculo baseia-se na orientação de ambas as antenas em questão. A adição dos sectores das células de destino à NCL deve seguir o esquema exemplificado na Figura 4.2.

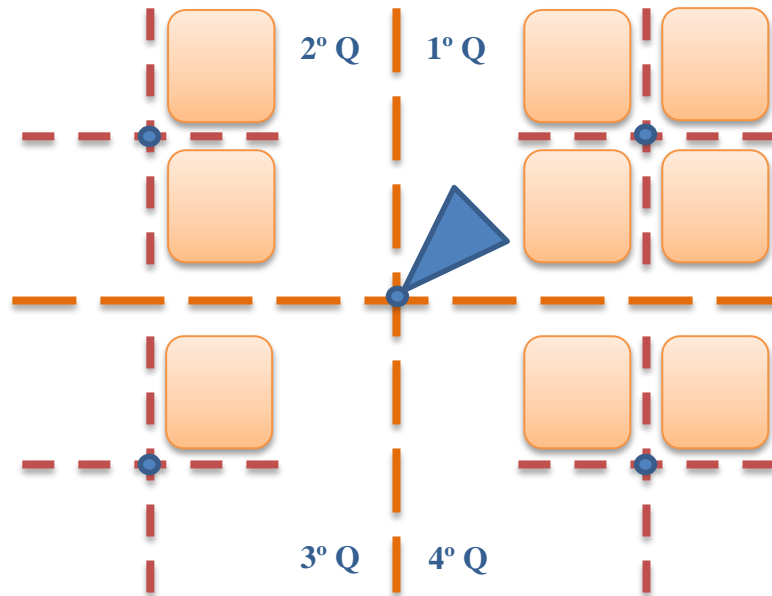


Figura 4.2 – Teoria dos quadrantes

Primeiro é verificado qual a orientação do sector em análise, através do respectivo azimuth. Caso este pertença ao primeiro quadrante (1º Q), ou seja, esteja situado entre os 0° e os 90°, todos os sectores das células candidatas que ali se situarem, devem ser adicionados à lista. Em relação aos restantes quadrantes, apenas os sectores que se encontrem virados para a área de serviço da célula fonte (neste caso o 1º Q), com base no próprio azimuth, são adicionados à nova lista. De modo a conhecer o posicionamento de cada célula de destino, ou seja, o quadrante em que se encontram, é calculado o ângulo α entre as duas estações, com base nas respectivas coordenadas, tendo como referência o norte.

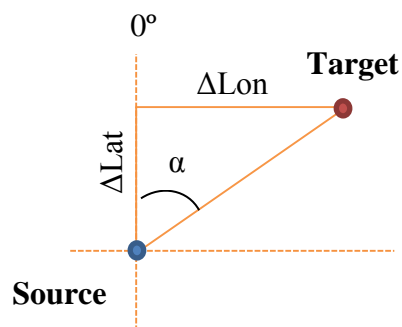


Figura 4.3 – Cálculo do ângulo formado entre eNBs.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta Lon}{\Delta Lat}\right) \quad (4.1)$$

Para finalizar este critério de decisão, é elaborado um ranking, atribuído a todas as células de destino, de modo a ordenar as mesmas, por importância, na lista final. Quanto menor for a distância entre os eNBs, maior será o ranking atribuído, Figura 4.4.

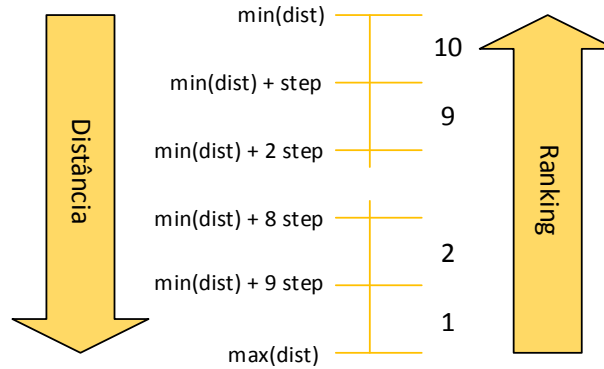


Figura 4.4 – Ranking critério de decisão da distância.

O *ranking* é dividido em dez patamares, em que a distância mínima corresponde ao eNB mais próximo, normalmente os sectores co-localizados, caso existam. Já a distância máxima corresponde ao *site* mais distante, tendo em consideração a limitação introduzida como parâmetro de entrada na ferramenta. O valor de *step* é dado pela Equação 4.2:

$$\text{step} = \frac{\text{max}(\text{dist}) - \text{min}(\text{dist})}{10} \quad (4.2)$$

Os sectores co-localizados são sempre classificados com o *ranking* igual a 10, uma vez que são obrigatórios na NCL. Por outro lado, existe a possibilidade de escolher na ferramenta desenvolvida, uma opção que coloca como obrigatório os eNBs pertencentes ao primeiro *tier* constarem na lista. Esta opção é útil em novas estações, não correndo o risco de falhas de relações de vizinhança.

Posto isto, verifica-se qual a dimensão máxima da NCL introduzida pelo utilizador e adicionam-se os sectores de *ranking* mais elevado. Uma vez que o processo se trata de uma optimização, é necessário verificar quais os sectores que já se encontravam na lista anterior, neste caso não são adicionados à nova NCL, mas sim mantidos.

- **Critério baseado em Estatísticas de Handover**

Ao contrário do critério anterior, este critério não permite a adição de novas células. Como é baseado em estatísticas da rede existente, apenas pode manter ou remover relações de vizinhança, a partir da antiga NCL. Isoladamente não tem grande utilidade prática, mas pode ser muito útil quando considerado em conjunto com outros critérios. Permite ao utilizador remover células que apresentem um número absoluto ou uma taxa de HO abaixo de um limiar introduzido como parâmetro na ferramenta. Pode ser interessante verificar os eNBs que apresentaram uma taxa de HO baixa num dado período de tempo.

A ferramenta começa por ler o ficheiro Excel[®] disponibilizado pelo operador, onde contém as estatísticas de HO, de dois meses, da rede em funcionamento. Este por sua vez é convertido numa *data table* para uma optimização do tempo de processamento e para um melhor acesso aos dados através de simples *queries*. O ficheiro contém a *source cell* bem como a relação de vizinhança e a frequência da célula *target*. PMHOEXEATTLTEINTRAF, PMHOEXESUCCLTEINTRAF são os PM *Counters* importantes para o algoritmo, como ilustrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tabela de estatísticas com os PM Counters.

STARTDATE	ENODEB	EUTRANCELLFDD	EUTRANFREQRELATION	EUTRANCELLRELATION
24/03/2014	0AB00100	1	1800	2681-100-1_2681-100-2
24/03/2014	0AB00100	1	1800	2681-100-1_2681-100-3
24/03/2014	0AB00100	1	1800	2681-100-1_2681-200-1
24/03/2014	0AB00100	1	1800	2681-100-1_2681-200-2
24/03/2014	0AB00100	1	1800	2681-100-1_2681-200-3

PMHOEXEATTLTEINTERF	PMHOEXEATTLTEINTRAF	PMHOEXESUCCLTEINTERF	PMHOEXESUCCLTEINTRAF
0	13	0	13
0	6	0	6
0	9	0	9
0	41	0	41
0	16	0	16

O algoritmo, apenas ajustado para intra-frequência, procura pela célula em optimização, dado pelo ENODEB e pelo sector EUTRANCELLFDD, e obtém tanto o somatório das tentativas de execução de HO (PMHOEXEATTLTEINTRAF) como do número de HO efectuados com sucesso (PMHOEXESUCCLTEINTRAF), ao longo dos dias disponibilizados e para cada célula *target*. Com estes dois contadores, é possível obter o indicador de performance *Handover Failure Rate* (HOF) para cada relação de vizinhança, dado pela Equação 4.3,

$$HPI_{HOF} = \frac{N_{HO_{fail}}}{N_{HO_{atmp}}} \quad (4.3)$$

onde $N_{HO_{fail}}$ representa o número de HO falhados, obtido através da diferença entre o PMHOEXEATTLTEINTRAF e o PMHOEXESUCCLTEINTRAF. Já o $N_{HO_{atmp}}$ é obtido directamente pelo PMHOEXEATTLTEINTRAF.

Com estes dados estatísticos, de modo a relacionar com o critério de decisão anterior, é necessário elaborar novamente um *ranking*. Este tem como base o número mínimo e máximo de HO existente nas relações de vizinhança estabelecidas, facilmente obtidos pelos contadores referenciados acima. Caso se coloque como parâmetro de entrada um número absoluto ou uma percentagem de HO, então será esse o considerado como mínimo para o *ranking*, removendo as células que apresentem valores inferiores. Células com um maior número de HO são classificadas com *ranking* máximo, ao contrário das células com um número inferior, de acordo com o esquema da Figura 4.5. Novamente, o *step* é dado pela Equação 4.4:

$$step = \frac{\max(HO) - \min(HO)}{10} \quad (4.4)$$

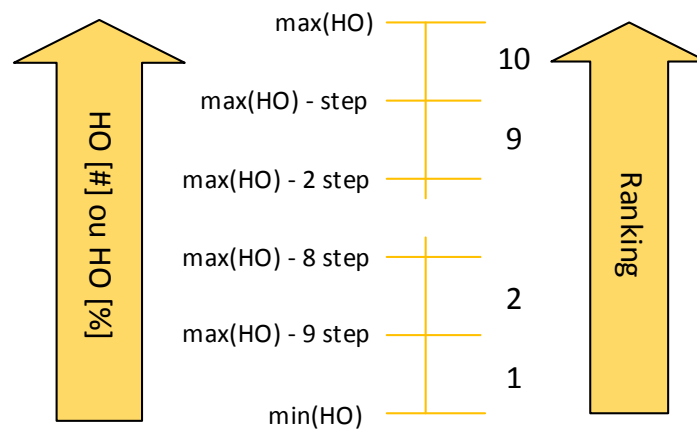


Figura 4.5 – Ranking critério de decisão das estatísticas.

- **Critério baseado nas Medidas de Scanner**

O último critério de decisão do algoritmo assenta sobre as medidas de *scanner* da rede obtidas através de *drive tests* (medidas de nível de sinal). Este permite adicionar, manter ou remover células da lista de vizinhas com base nos níveis de sinal RSRP verificados nas imediações da célula de serviço. Permite verificar situações de sobreposição de células.

Inicialmente, consideram-se apenas os *bins* onde existem medidas da célula de serviço, uma vez que apenas nesses locais é possível existir HO para a célula de destino. Entende-se por *bins* quadrículas de terreno de 10 por 10 metros, 100 por 100 metros ou 1 por 1 km, onde são agregados pela ferramenta conjuntos de coordenadas. Para tal, numa análise intra-frequência, é feita uma *query* à base de dados SQL Server, filtrando os *bins* ao PCI e ao EUTRA *Absolute Radio Frequency Channel Number* (EARFCN), frequência de serviço. É também da responsabilidade do utilizador filtrar os dados a um nível de RSRP mínimo colocado como parâmetro de entrada na ferramenta de simulação.

Com a *data table* obtida, onde constam todos os *bins* com o PCI e EARFCN da célula de serviço, para cada par *bin* verifica-se o nível de sinal de todas as células de destino, comparando com o de serviço. As células encontram-se em *overlap*, num determinado *bin*, ver Figura 4.6, se o nível de sinal RSRP *target* for superior ao RSRP *source* ou se respeitar a condição de *overlap*, Equação 4.5, sendo a diferença de RSRP inferior a um *threshold* de 6 dB.

$$|RSRP_{source} - RSRP_{target}| < 6 \text{ dB} \quad (4.5)$$

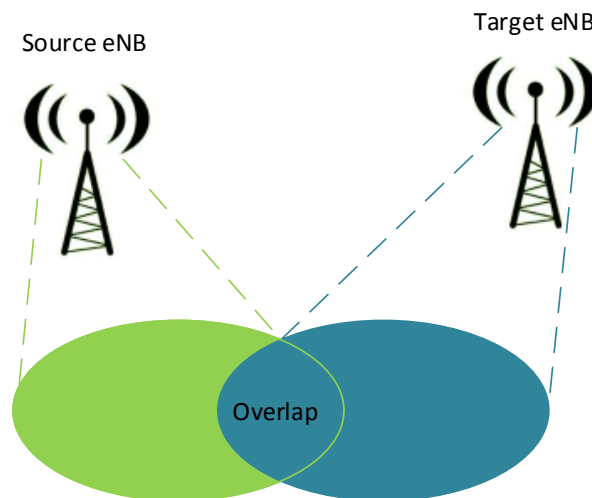


Figura 4.6 – Área de overlap.

De modo a calcular a percentagem de sobreposição das células, contabiliza-se o número de *bins* onde existe sinal de cada célula *target* e o número de *bins* onde esse sinal cumpra a condição acima. Então, pela Equação 4.6:

$$\% \text{ Overlap} = \frac{\#bins_{Overlap}}{\#bins} \quad (4.6)$$

Contabilizando também o nível de sinal em cada *bin* em condições de sobreposição, obtém-se o nível de sinal RSRP médio de cada célula *target* em *overlap* com a célula de serviço, Equação 4.7:

$$RSRP_{Avg} = \frac{\sum RSRP_{binsOverlap}}{\#bins_{Overlap}} \quad (4.7)$$

Por fim, segue-se o raciocínio dos critérios de decisão anteriores e elabora-se um *ranking* para cada célula de destino. Este baseia-se na percentagem de *overlap*, quanto mais elevada for, maior será o *ranking* atribuído.

No entanto, é necessário atribuir maior importância às células com um maior número de amostras, não correndo o risco de colocar o valor de *ranking* máximo a uma célula com apenas um *bin* avaliado, apesar de apresentar uma percentagem de *overlap* muito elevada. Para resolver esta situação, à percentagem de sobreposição é aplicado o peso dos *bins*, ou seja, para uma dada célula ser considerada com *ranking* máximo é necessário ter uma percentagem de *overlap* elevada numa grande quantidade de amostras. O peso das amostras é o resultado da divisão entre o número de *bins* em sobreposição da célula de destino e o número total de *bins* em sobreposição. A escala do *ranking* para este critério encontra-se apresentada na Figura 4.7. Mais uma vez, o *step* é dado pela Equação 4.8:

$$step = \frac{max(\% Overlap) - min(\% Overlap)}{10} \quad (4.8)$$

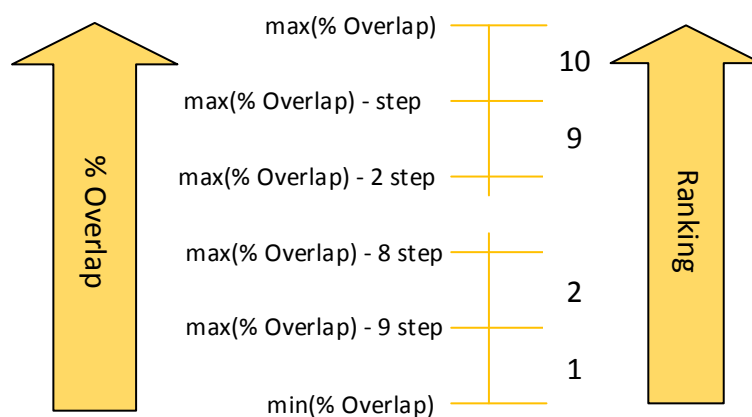


Figura 4.7 – Ranking critério de decisão das medidas.

4.1.3 Pesos dos critérios de decisão

Para uma otimização mais fiável, considerando o desempenho da rede existente, é importante juntar os três critérios de decisão num só. Como tal, o algoritmo permite ao utilizador aplicar diferentes pesos a cada um, elaborando posteriormente um *ranking* final. Após aplicar o *ranking* individual a cada critério, é feita uma média ponderada (ver Figura 4.8), em que o utilizador define a importância de cada critério, resultando num *ranking* médio final. Deste modo consegue-se uniformizar os três vectores de cálculo.

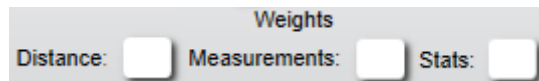


Figura 4.8 – Pesos de cada critério de decisão.

Nas estatísticas de HO existe uma particularidade. Apenas permite manter ou remover relações de vizinhança, uma vez que se baseia na antiga NCL. Assim, as novas células que são adicionadas não apresentam *ranking*, o que as coloca inevitavelmente com menos importância. Para lidar com este comportamento, é criado um *ranking* fictício com base no *ranking* do critério da distância, ou seja, é procurada a célula que mais se assemelha à célula em questão, desde que pertença à antiga lista, e define-se o mesmo *ranking* das estatísticas. Caso um dos sectores co-localizados possua *ranking* então será esse o atribuído.

4.1.4 Análise do Ganho de Otimização

O ideal para analisar o ganho do algoritmo seria testar na rede real a implementação de novas NCL, o que, por questões de tempo e autorização, não foi possível. Posto isto, foi necessário encontrar uma alternativa de modo a quantificar a melhoria introduzida com a otimização resultante da ferramenta de simulação.

Consideram-se apenas os *bins* onde a célula de serviço não é *best server*, situação onde pode existir HO. Uma vez que apenas pode existir este processo para uma célula que se encontre na lista de vizinhas, é verificado se esta consta em ambas as listas, antes e depois da otimização. Caso a célula exista na nova NCL e não na antiga, existiu otimização, ou seja, passou a estar na lista de vizinhas uma célula com melhor nível de sinal que a fonte, num determinado *bin*. Como exemplo considera-se o andamento do nível de três células, Figura 4.9.

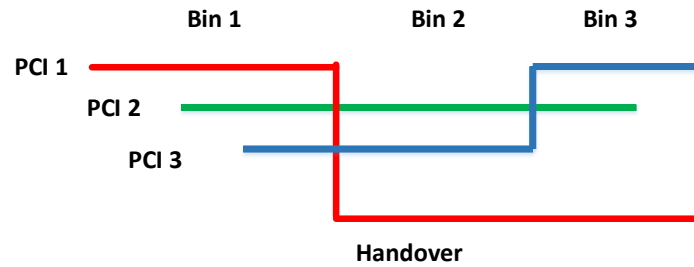


Figura 4.9 – Andamento do sinal best server.

O PCI 1 corresponde à célula de serviço, sendo as restantes possíveis células *target*. Analisando apenas os *bins* 2 e 3, caso em que a célula de serviço não é a *best server*, quando o nível de sinal RSRP da fonte desce abaixo de um determinado limiar e que exista uma célula candidata em melhores condições, desprezando os parâmetros de HO envolvidos no processo, não abordados no âmbito do projecto, entra-se em processo de troca de célula.

Para que exista uma troca da célula de serviço para a de PCI 2 (*bin* 2) de acordo com o exemplo acima, é necessário que esta se encontre na lista de células vizinhas da célula fonte. Caso isso não se verifique, acontece o mesmo com a célula de PCI 3, verificando novamente na sua NCL. Por sua vez, caso esta não conste novamente na lista de vizinhas, não é possível iniciar o processo de HO, levando a uma degradação do sinal até que existe uma queda no serviço. Assim propõe-se o seguinte método de avaliação do ganho obtido pela optimização da lista de vizinhas.

Ao considerar-se os *bins* em que a célula de serviço não é a *best server*, é verificado se a célula *target* consta em ambas as listas, antiga e nova. Caso isso se verifique, não existiu optimização, o nível de sinal permaneceu o mesmo ao fazer HO. No entanto, se a célula apenas constar na nova NCL então houve um aumento na qualidade de serviço, após o processo de transferência de célula. O utilizador passa a ser servido por um nível de sinal RSRP superior após a optimização da lista. Este processo é iterativo, ou seja, se a *best server* também não se encontrar na nova lista, verifica-se a segunda melhor, aplicando a mesma lógica. Com isto pretende-se melhorar o nível de sinal, nos processos de HO, nas imediações da célula de serviço.

Numa análise intra-frequência, é feita uma *query* à base de dados SQL Server, filtrando os *bins* ao PCI e ao EARFCN, frequência de serviço, excluindo os *bins* onde esta célula é *best server*. O resultado desta função de análise do ganho de optimização será uma lista com os *best servers* existentes nas imediações da célula de serviço e os valores de nível de sinal RSRP verificado na área analisada antes e depois da optimização, ou seja, com base na antiga e na nova NCL.

Capítulo 5

Ferramenta de Simulação

Aqui é feita uma breve introdução ao *software* de simulação utilizado no desenvolvimento do trabalho. São descritas as funcionalidades mais importantes do mesmo, com especial atenção à optimização de lista de células vizinhas. A ferramenta gera ficheiros KML e relatórios em Excel[®], de modo a analisar os resultados obtidos.

5.1 Vismon®

Este projecto foi desenvolvido em parceria com a empresa Celfinet, que se disponibilizou fortemente em colaborar com a sua realização. A ferramenta de *software* em que o projecto foi desenvolvido denomina-se por Vismon®, ver Figura 5.1, e baseia-se numa aplicação que interage entre uma base de dados, SQL Server®, e a ferramenta de visualização Google Earth® (GE).



Figura 5.1 – Logotipo Vismon Observer.

Esta é programada em ambiente C#, através do Visual Studio®, tendo como *inputs* tabelas pertencentes à base de dados da Celfinet. Nessas tabelas, entre muitos outros dados, podem-se configurar e consultar topologias das redes e níveis de sinal baseados em medidas RF. Essas foram as tabelas de dados utilizadas na elaboração dos algoritmos NCL. De seguida procede-se a um breve resumo da funcionalidades mais importante para o projecto.

5.1.1 Thematic Maps

Este separador permite ao utilizador visualizar no GE *drive tests* realizados em vários locais do país, das várias tecnologias existentes, como *Global System for Mobile Communications* (GSM) / GPRS, UMTS ou LTE. O utilizador pode especificar o tipo de tema que pretende visualizar, filtrando-o por frequência e/ou por data, bem como escolher a transparência dos *bins*. Este separador tem a aparência ilustrada na Figura 5.2.

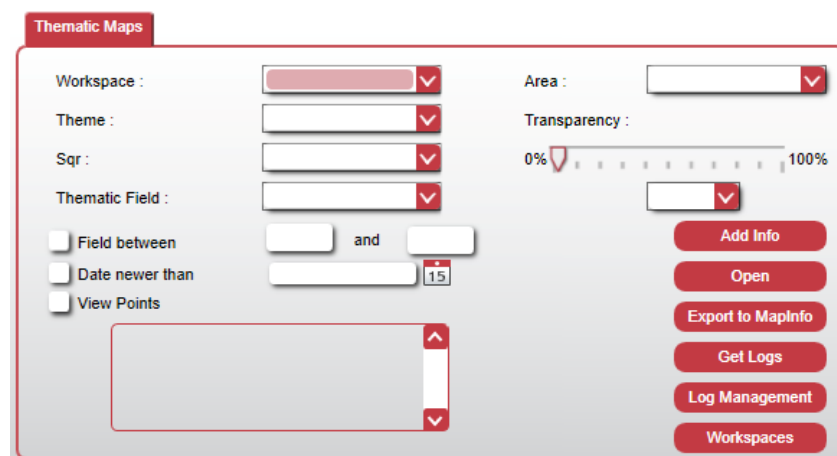


Figura 5.2 – Separador thematic maps.

Através dos parâmetros seleccionados na figura anterior, o Vismon[®] acede à base de dados, obtendo os valores das tabelas correspondentes e cria um ficheiro KML que é aberto pelo GE, permitindo ao utilizador uma agradável visualização com uma escala de cores, neste caso de medidas de *ServingCell* RSRP dos terminais móveis LTE, com *bins* de 10 por 10 m, ver Figura 5.3.



Figura 5.3 – Níveis de *servingCell* RSRP para EARFCN = 6300.

5.1.2 Network Topology

Este separador é muito útil no sentido em que permite ao utilizador uma visualização da topologia de rede da tecnologia seleccionada. É possível filtrar as estações que se deseja, pelo nome ou pela própria frequência. A Figura 5.4 apresenta a interface gráfica deste separador.

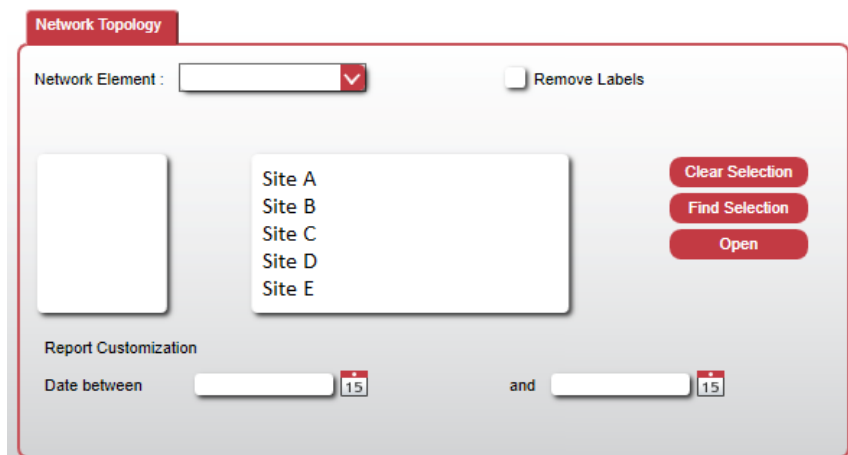


Figura 5.4 – Separador network topology.

Ao seleccionar a rede de 4ª Geração, o Vismon® recorre à tabela correspondente da topologia de rede LTE na base de dados e cria novamente um ficheiro KML que é aberto pelo GE, ver Figura 5.5, com todas as estações escolhidas.



Figura 5.5 – eNBs Example.

Os eNBs são representados por um símbolo a laranja com o nome numa etiqueta (*label*), compostos pelos sectores correspondentes, a azul, com a orientação definida na base de dados. Ao clicar sobre o eNB obtém-se informações sobre a localização e referência do eNB, bem como a data de activação e/ou modificação. Clicando sobre os sectores, é possível verificar as suas especificações, como o PCI, a frequência, a altura e orientação da antena, bem como os *tilts* associados, eléctrico e mecânico.

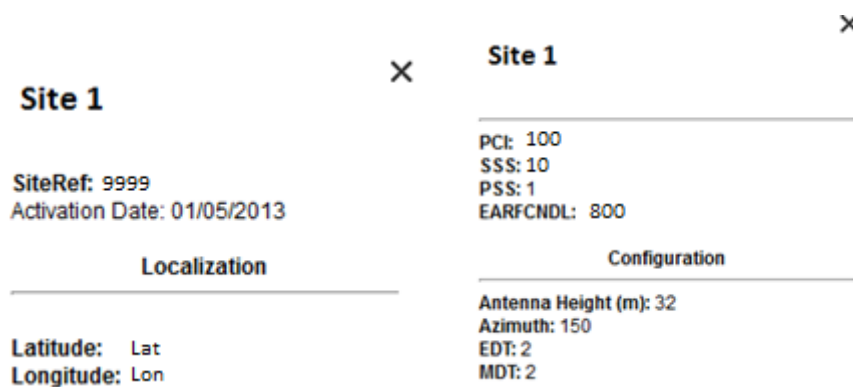


Figura 5.6 – Especificações do eNB e do sector.

Apesar de a ferramenta funcionar para as redes GSM e UMTS, no que respeita aos separadores anunciados, a adaptação para a rede LTE foi desenvolvida no âmbito deste projecto. Toda a programação envolvente no acesso à base de dados da rede, o processamento dos dados pela ferramenta de trabalho e a representação visual no GE foi elaborada. Tudo isto numa primeira fase, antes do algoritmo das listas de vizinhas.

5.1.3 Neighbor Cell List

Criado de raiz, tem como objectivo elaborar uma lista de células vizinhas otimizada para um dado *cluster* de células. Tem como *inputs* a antiga lista de vizinhas, obtida a partir de um ficheiro Excel[®] com todas as relações de vizinhança, um ficheiro de estatísticas da rede, com o número de HO realizados com e sem sucesso entre todas as estações envolvidas, e um *scan* da rede com os vários níveis de sinal RSRP em cada *bin* obtido a partir da base de dados.

- **Interface Gráfica**

A Figura 5.7 e a Tabela 5.1 demonstram o aspecto base deste separador e a descrição dos vários componentes.

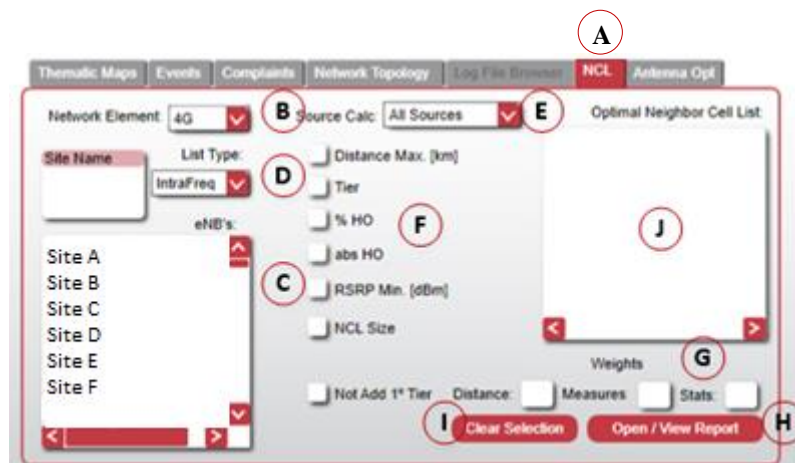


Figura 5.7 – Separador NCL.

Tabela 5.1 – Legenda dos componentes.

A Separador NCL	F Restrições de cálculo
B Seleccionar tecnologia	G Peso de cada critério
C Seleccionar <i>sites</i>	H Gerar KML e relatório
D Tipo de lista	I Limpar <i>sites</i>
E Critérios de cálculo	J NCL final

- **Output em KML**

O *output* da ferramenta de simulação encontra-se exemplificado na Figura 5.8, ficheiro KML que pode ser visualizado no Google Earth®, em que a célula em análise se encontra representada a azul. A verde correspondem as células que serão adicionadas à lista e a vermelho as que serão removidas. As células amarelas serão mantidas na lista. A roxo, tem-se as células que não são adicionadas, removidas, nem mantidas. Por fim, a cinza, estão representados os *sites* de outra frequência. No terreno, representado a azul, encontra-se a área simbólica de serviço da célula.



Figura 5.8 – Exemplo de células vizinhas.

- **Output em Excel**

Outro *output* deste separador é um relatório pormenorizado com todas as alterações efectuadas na lista de vizinhas, em ficheiro Excel®. Este possui quatro folhas. A *Summary* apresenta a descrição da célula de serviço e os parâmetros de cálculo usados, ver Figura 5.9. A *Neighbor Cell List* apresenta a lista de células vizinhas final, ver Figura 5.10. Na Figura 5.11 tem-se a mais importante, a *Detailed Neighbor Cell List*. Esta apresenta as alterações na lista com base nos critérios de cálculo bem como todos os dados envolvidos. Por fim, a *NCL Optimization Gain* serve como validação da ferramenta. Indica a lista de *Best Servers* existentes nas imediações da área de serviço da célula fonte de modo a verificar os mesmos em ambas as listas, antiga e nova, ver Figura 5.12. Por motivos de confidencialidade do operador, todas as estações abordadas ao longo do relatório encontram-se descaracterizadas.

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	2	Frequencies	1800 MHz
PCI	152	NCL Size	32
EARFCNDL	1275	Max Distance [km]	50
Latitude (°)	Lat	Tier	N/A
Longitude (°)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (°)	100	# HO	N/A
Antenna MDT (°)	0	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (°)	3		
Antenna Height (m)	26		
NCL Generated Date	19 de Julho de 2014 16:54:24		

Figura 5.9 – Exemplo da folha summary.

Site Name	Site Ref	PSS	PCI	EARFCNDL	Latitude	Longitude	Antenna Orientation	Antenna MDT	Antenna EDT	Antenna Height
SITE 1	156	0	150	1800	Lat	Lon	220	0	6	26
SITE 1	156	1	151	1800	Lat	Lon	340	0	6	26
NEIGH 1	231	2	134	1800	Lat	Lon	60	0	3	18
NEIGH 1	231	1	133	1800	Lat	Lon	180	0	5	18
NEIGH 1	231	0	132	1800	Lat	Lon	300	0	4	18
NEIGH 7	178	2	140	1800	Lat	Lon	60	0	6	25
NEIGH 8	213	2	143	1800	Lat	Lon	90	0	5	25
NEIGH 8	213	1	142	1800	Lat	Lon	310	0	5	25
NEIGH 8	213	0	141	1800	Lat	Lon	190	2	6	25
NEIGH 9	200	2	179	1800	Lat	Lon	40	0	1	21
NEIGH 9	200	1	178	1800	Lat	Lon	160	0	4	21
NEIGH 9	200	0	177	1800	Lat	Lon	280	0	1	21
NEIGH 7	178	0	138	1800	Lat	Lon	180	0	4	25
NEIGH 7	178	1	139	1800	Lat	Lon	300	0	6	25
NEIGH 10	145	0	120	1800	Lat	Lon	140	0	5	20
NEIGH 10	145	2	122	1800	Lat	Lon	10	0	5	20
NEIGH 10	145	1	121	1800	Lat	Lon	260	2	6	20
NEIGH 6	162	2	215	1800	Lat	Lon	260	0	3	20
NEIGH 6	162	1	214	1800	Lat	Lon	0	0	0	20
NEIGH 6	162	0	213	1800	Lat	Lon	170	0	8	20
NEIGH 11	201	0	186	1800	Lat	Lon	180	0	4	23
NEIGH 3	188	1	199	1800	Lat	Lon	260	0	4	30
NEIGH 12	211	2	185	1800	Lat	Lon	80	0	2	15
NEIGH 12	211	1	184	1800	Lat	Lon	300	0	6	15
NEIGH 11	201	1	187	1800	Lat	Lon	300	0	6	23
NEIGH 12	211	0	183	1800	Lat	Lon	180	0	4	15
NEIGH 11	201	2	188	1800	Lat	Lon	60	0	5	23
NEIGH 3	188	0	198	1800	Lat	Lon	170	0	6	30
NEIGH 2	143	0	111	1800	Lat	Lon	110	0	5	15
NEIGH 3	188	2	200	1800	Lat	Lon	80	0	4	30
NEIGH 4	224	0	93	1800	Lat	Lon	60	0	4	22
NEIGH 5	164	2	218	1800	Lat	Lon	300	0	7	28

Figura 5.10 – Exemplo da folha neighbor cell list.

Neighbor Cell - Topology					Neighbor Cell - Distance					Neighbor Cell - Statistics		
Site Name	Site Ref	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	
SITE 1	156	0	150	1275	0	1	1	10	888	20	7	
SITE 1	156	1	151	1275	0	1	0	10	1445	33	10	
NEIGH 1	231	2	134	1275	0,73	1	51	9	-	-	8	
NEIGH 1	231	1	133	1275	0,73	1	49	9	1338	30	10	
NEIGH 1	231	0	132	1275	0,73	1	0	8	734	17	6	
NEIGH 7	178	2	140	1275	0,506	1	90	10	-	-	1	
NEIGH 8	213	2	143	1275	0,814	1	71	8	-	-	4	
NEIGH 8	213	1	142	1275	0,814	1	1	7	-	-	4	
NEIGH 8	213	0	141	1275	0,814	1	4	7	-	-	4	
NEIGH 9	200	2	179	1275	0,593	1	44	9	0	0	1	
NEIGH 9	200	1	178	1275	0,593	1	36	9	-	-	1	
NEIGH 9	200	0	177	1275	0,593	1	20	9	-	-	1	
NEIGH 7	178	0	138	1275	0,506	1	10	9	33	1	1	
NEIGH 7	178	1	139	1275	0,506	1	0	9	-	-	1	
NEIGH 10	145	0	120	1275	0,919	1	63	8	3	0	1	
NEIGH 3	188	2	200	1275	1,277	3	13	5	-	-	4	
NEIGH 4	224	0	93	1275	1,387	3	96	5	-	-	4	
NEIGH 5	164	2	218	1275	1,578	4	67	3	-	-	1	
NEIGH 2	143	1	112	1275	1,013	2	0	0	2	0	1	
NEIGH 2	143	2	113	1275	1,013	2	0	0	0	0	1	

Neighbor Cell - Topology					Neighbor Cell - Measurements									
Site Name	Site Ref	PSS	PCI	EARFCNDL	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs	
SITE 1	156	0	150	1275	827	424	51	-91	2	10	1	keep	Co	
SITE 1	156	1	151	1275	1424	1260	88	-97	10	10	2	keep	Co	
NEIGH 1	231	2	134	1275	1367	1042	76	-106	8	8	3	add	M	
NEIGH 1	231	1	133	1275	389	227	58	-101	2	7	4	keep	M	
NEIGH 1	231	0	132	1275	320	236	74	-115	2	5	5	keep	M	
NEIGH 7	178	2	140	1275	263	176	67	-85	2	4	6	add	M	
NEIGH 8	213	2	143	1275	55	8	15	-107	1	4	7	add	M	
NEIGH 8	213	1	142	1275	42	22	52	-96	1	4	8	add	M	
NEIGH 8	213	0	141	1275	29	16	55	-112	1	4	9	add	M	
NEIGH 9	200	2	179	1275	478	200	42	-102	1	4	10	keep	M	
NEIGH 9	200	1	178	1275	196	105	54	-105	1	4	11	add	M	
NEIGH 9	200	0	177	1275	522	200	38	-104	1	4	12	add	M	
NEIGH 7	178	0	138	1275	91	84	92	-90	1	4	13	keep	M	
NEIGH 7	178	1	139	1275	101	91	90	-87	1	4	14	add	M	
NEIGH 10	145	0	120	1275	7	2	29	-103	1	3	15	keep	M	
NEIGH 3	188	2	200	1275	149	76	51	-104	1	3	30	add	M	
NEIGH 4	224	0	93	1275	-	-	-	-	1	3	31	add	M	
NEIGH 5	164	2	218	1275	3	2	67	-116	1	2	32	add	M	
NEIGH 2	143	1	112	1275	244	151	62	-117	1	0	0	remove	M	
NEIGH 2	143	2	113	1275	42	15	36	-110	1	0	0	remove	M	

Figura 5.11 – Exemplo da folha detailed neighbor cell list.

Neighbor Algorithm Results	
Total Added Neighbors	25
Total Keep Neighbors	7
Total Removed Neighbors	2

Old Neighbor Cell List		Best Servers List		New Neighbor Cell List	
Site Name	Cell Ref	Site Name	Cell Ref	Site Name	Cell Ref
NEIGH 2	1431	SITE 1	1561	SITE 1	1560
NEIGH 2	1432	SITE 1	1560	SITE 1	1561
NEIGH 10	1450	NEIGH 11	2011	NEIGH 1	2311
SITE 1	1560	NEIGH 7	1782	NEIGH 1	2312
SITE 1	1561	NEIGH 7	1780	NEIGH 1	2310
NEIGH 7	1780	NEIGH 3	1881	NEIGH 7	1782
NEIGH 9	2002	NEIGH 7	1781	NEIGH 8	2132
NEIGH 1	2310	NEIGH 1	2311	NEIGH 8	2131
NEIGH 1	2311	NEIGH 9	2002	NEIGH 8	2130
		NEIGH 11	2010	NEIGH 9	2002
		NEIGH 12	2112	NEIGH 9	2001
		NEIGH 12	2111	NEIGH 9	2000
		NEIGH 9	2000	NEIGH 7	1780
		NEIGH 9	2001	NEIGH 7	1781
		NEIGH 8	2131	NEIGH 10	1450
		NEIGH 6	1622	NEIGH 10	1452
		NEIGH 1	2312	NEIGH 10	1451
		SITE 2	1480	NEIGH 6	1622
		NEIGH 6	1621	NEIGH 6	1621
		SITE 3	1740	NEIGH 6	1620
		NEIGH 10	1452	NEIGH 11	2010
		SITE 4	1662	NEIGH 3	1881
		NEIGH 1	2310	NEIGH 12	2112
				NEIGH 12	2111
				NEIGH 11	2011
				NEIGH 12	2110
				NEIGH 11	2012
				NEIGH 3	1880
				NEIGH 2	1430
				NEIGH 3	1882
				NEIGH 4	2240
				NEIGH 5	1642

Figura 5.12 – Exemplo da folha NCL optimization gain.

Capítulo 6

Resultados e Análise ao Desempenho do Algoritmo

Neste capítulo do trabalho são testadas as funcionalidades de otimização de lista de células vizinhas implementadas de acordo com o Capítulo 4. É feita a análise de desempenho da ferramenta desenvolvida com vários cenários reais de estudo, bem como os resultados obtidos. Este capítulo permite perceber as razões que levam a adicionar, manter ou remover uma dada célula na NCL com base na junção dos três critérios de decisão que compõe o algoritmo elaborado sobre a ferramenta Vismon[®].

6.1 Definição dos Cenários

De modo a analisar o desempenho da ferramenta, foram elaborados vários cenários de teste onde é possível verificar a optimização da lista de células vizinhas dos *sites* envolvidos, sempre numa análise intra-frequência. Estes são apresentados em imagens geradas pela ferramenta no GE e em relatórios através do Excel[®]. Posteriormente também é apresentado graficamente o ganho obtido pela optimização de um *cluster*. Por motivos de confidencialidade do operador, todas as estações abordadas ao longo do relatório encontram-se descaracterizadas.

6.1.1 Cenário 1

A célula em análise encontra-se detalhada na Figura 6.1. Este eNB possui apenas dois sectores e o seu estudo prende-se com o facto do seu sector co-localizado não estar presente na sua lista de vizinhas. A única limitação de cálculo é o máximo de 32 células, condição da tecnologia LTE para intra-frequência.

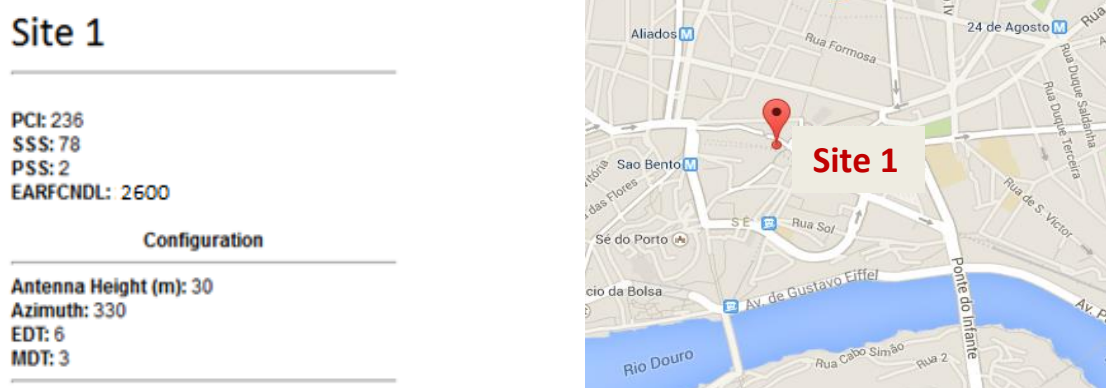


Figura 6.1 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 2.

Após executar o algoritmo de optimização, verifica-se que o sector co-localizado à célula de serviço, representada a azul, não se encontrava na lista antiga, Figura 6.2. Dado ser uma condição obrigatória, este sector foi adicionado à nova NCL, estando por isso a verde. Esta falha de relação de vizinha pode ser crítica, podendo levar à falha de serviço, quando o utilizador se movimenta em torno da estação, para sul. Para reforçar a ideia de optimização daquela área geográfica, foram também adicionados dois sectores da estação “Neigh 1” (circulo a verde) estando um deles efectivamente orientado para a área de serviço. Curiosamente o único sector que constava na antiga lista encontra-se de “costas” para a área de serviço. Apesar de não existir HO, é mantido na nova lista pela sua proximidade, apresenta um *ranking* elevado no critério da distância, e por pertencer ao primeiro *tier*, como é possível verificar no relatório da Figura 6.3.

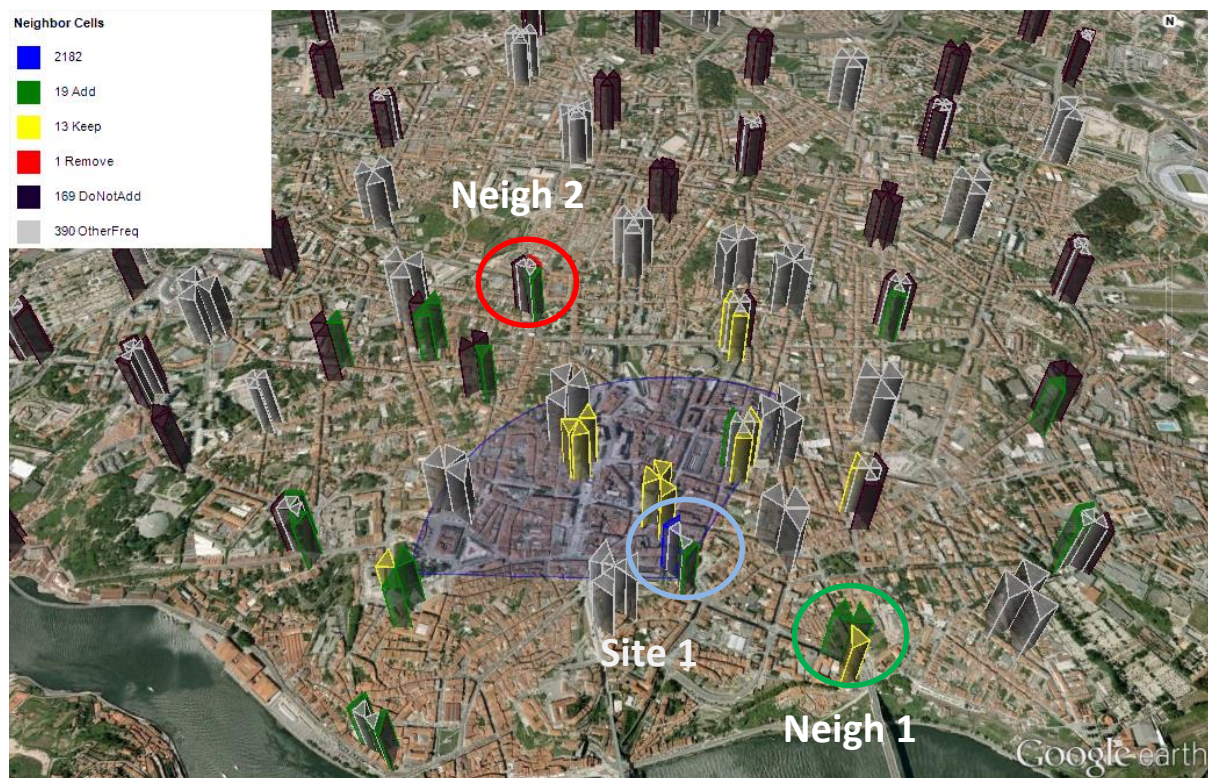


Figura 6.2 – Otimização NCL da célula SITE 1, PSS 2.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics		
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank
SITE 1	1	235	2600	0	1		0	10	-	10
NEIGH 3	2	230	2600	0,199	1		48	9	1214	10
NEIGH 3	1	229	2600	0,199	1		43	9	390	4
NEIGH 3	0	228	2600	0,199	1		13	9	550	5
NEIGH 4	0	240	2600	0,429	1		66	8	-	1
NEIGH 4	2	242	2600	0,429	1		6	7	17	1
NEIGH 1	0	267	2600	0,488	1		100	8	-	1
NEIGH 4	1	241	2600	0,429	1		28	7	36	1
NEIGH 1	2	269	2600	0,488	1		0	7	0	1
NEIGH 1	1	268	2600	0,488	1		0	7	-	1
NEIGH 5	2	170	2600	1,173	5		25	2	-	1
NEIGH 6	0	297	2600	1,28	4		100	2	-	1
NEIGH 7	2	173	2600	1,342	4		53	1	-	1
NEIGH 2	0	192	2600	1,136	4		0	0	2	1

Figura 6.3 – Parte do relatório da célula SITE 1, PSS 2.

Por outro lado, a célula “Neigh 2” sector 0 é removida. Além de estar distante e de não se encontrar orientada para a área de serviço, possui *ranking* 0 na distância, apresenta apenas dois HO, aproximadamente 0 % dos totais. Para confirmar a sua remoção, colocando um *ranking* médio muito baixo, possui poucos *bins* em condições de sobreposição com a célula de serviço, o que lhe atribui também um *ranking* residual no critério das medidas. Como existem 32 células elígeveis com melhores condições, esta é removida. O relatório integral encontra-se no Anexo A.

6.1.2 Cenário 2

No segundo cenário, o objectivo é analisar apenas o 1º tier. Deste modo, como parâmetro de cálculo de entrada na ferramenta de simulação, coloca-se “Tier 1”. Como o primeiro anel de interferência deve constar na NCL, é interessante verificar se as células foram mantidas ou adicionadas, existindo no último caso, alguma optimização. Desta vez a célula de serviço é a especificada na Figura 6.4.

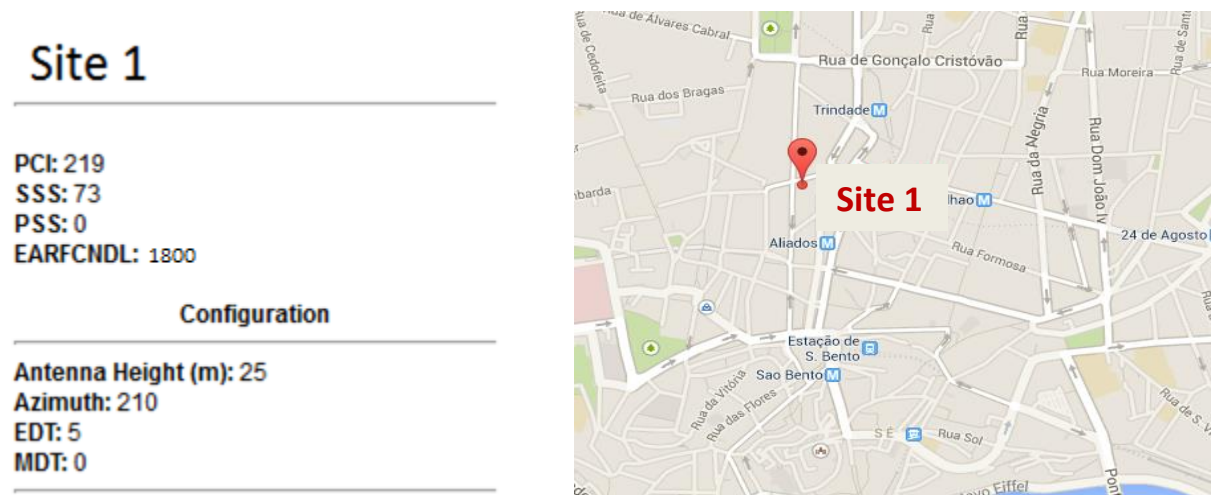


Figura 6.4 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 0.

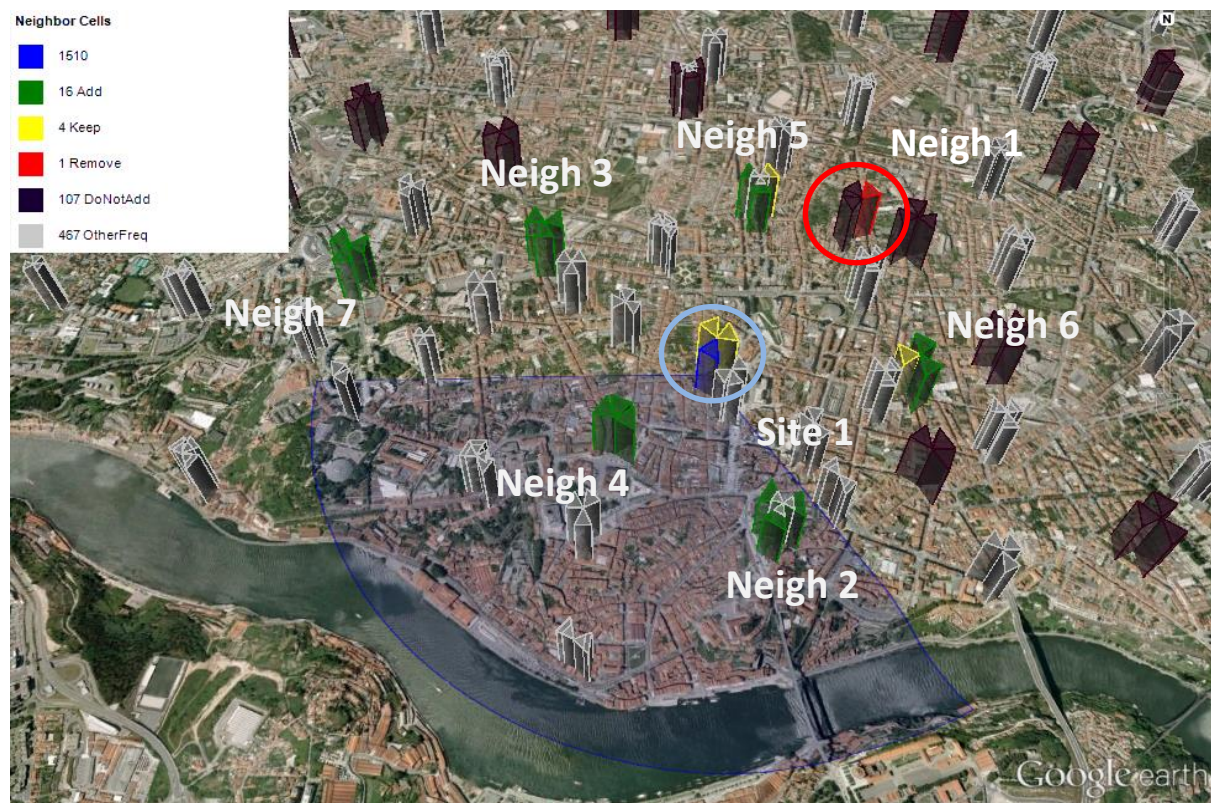


Figura 6.5 – Optimização NCL da célula SITE 1, PSS 0.

Analisando a Figura 6.5, verifica-se que, para além de manter as células co-localizadas, apenas existiam na lista anterior 2 sectores classificados como 1º tier. A célula “Neigh 1”, sector 1 é removida uma vez que pertence ao 2º tier. Posto isto, a ferramenta adicionou 16 novas células à lista de vizinhas que deviam, à partida, já constar na mesma. É condição essencial a adição do 1º tier à lista, podendo ser o site na totalidade ou apenas os sectores devidamente orientados para a área de serviço. Esta condição torna-se mais crítica quando se coloca um novo eNB em funcionamento, isto porque não se tem conhecimento do comportamento e desempenho na rede. Deste modo, não se corre o risco de falta de cobertura por ausência de relações de vizinhança.

Através do relatório, ver Figura 6.6, verifica-se que as células adicionadas fazem parte do 1º tier. A versão completa encontra-se no Anexo A.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance			
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank
SITE 1	1	220	1800	0	1	0	10
SITE 1	2	221	1800	0	1	0	10
NEIGH 2	2	212	1800	0,637	1	6	7
NEIGH 3	1	196	1800	0,45	1	37	9
NEIGH 2	1	211	1800	0,637	1	68	8
NEIGH 3	2	197	1800	0,45	1	16	9
NEIGH 4	0	183	1800	0,787	1	100	7
NEIGH 5	0	216	1800	0,774	1	99	7
NEIGH 5	1	217	1800	0,774	1	0	6
NEIGH 5	2	218	1800	0,774	1	1	6
NEIGH 4	2	185	1800	0,787	1	1	6
NEIGH 4	1	184	1800	0,787	1	0	6
NEIGH 2	0	210	1800	0,637	1	36	8
NEIGH 3	0	195	1800	0,45	1	22	9
NEIGH 6	2	251	1800	0,633	1	88	8
NEIGH 6	0	249	1800	0,633	1	12	7
NEIGH 6	1	250	1800	0,633	1	0	7
NEIGH 7	2	143	1800	1,316	1	76	2
NEIGH 7	0	141	1800	1,316	1	67	2
NEIGH 7	1	142	1800	1,316	1	0	1
NEIGH 1	1	253	1800	0,832	2	0	0

Figura 6.6 – Relatório da célula SITE 1, PSS 0.

6.1.3 Cenário 3

Este cenário possui uma análise específica: perceber porque existe um sector adicionado à lista num local mais distante sem que outros mais próximos sejam adicionados. O único parâmetro restritivo de cálculo da célula apresentada na Figura 6.7 é o tamanho da lista por omissão, 32 células.

SITE 1

PCI: 151
 SSS: 50
 PSS: 1
 EARFCNDL: 1800

Configuration

Antenna Height (m): 26
 Azimuth: 340
 EDT: 6
 MDT: 0



Figura 6.7 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 1.



Figura 6.8 – Optimização NCL da célula SITE 1, PSS 1.

Neste cenário não são removidas relações de vizinhança e todas as 8 células mantidas têm lógica de o serem. No entanto, das 24 células adicionadas, existe uma que pode causar dúvidas, a “Neigh 1” sector 0 com um círculo a verde, ver Figura 6.8.

Apesar de existirem células mais próximas, teoricamente com melhores condições de serem elegíveis, esta aparece cotada com um *ranking* médio superior, constando nas 32 melhores. Apresenta, como é espectável, um *ranking* zero no critério da distância, uma vez que se encontra a 3.48 km de distância da célula fonte e o *ranking* mínimo no critério das estatísticas, por não encontrar nenhuma célula semelhante na lista antiga. No entanto, existe uma boa quantidade de *bins* em sobreposição com a célula de serviço (62 %). Pesando esta percentagem pelo número de *bins* (933) nessa condição obtém-se um *ranking* de 3 no critério das medidas, ver Figura 6.9. Fazendo a média dos três critérios, este acaba por lhe conferir um grau de importância superior a outras células teoricamente em melhores condições. Isto não invalida que a célula se trate de uma *overshooter*, uma vez que serve fora da sua área, facto que não é abordado no âmbito deste projecto. O relatório completo encontra-se no Anexo A.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics			Neighbor Cell - Measurements				
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank
SITE 1	0	150	1800	0	1	1	10	721	12	4	1286	377	29	-94	1
SITE 1	2	152	1800	0	1	1	10	1555	26	8	1424	534	38	-103	1
NEIGH 2	2	134	1800	0,73	1	51	9	-	-	6	2986	2548	85	-104	9
NEIGH 3	0	138	1800	0,506	1	0	9	1960	33	10	56	46	82	-80	1
NEIGH 3	1	139	1800	0,506	1	50	10	1163	20	6	110	92	84	-86	1
NEIGH 3	2	140	1800	0,506	1	50	10	415	7	3	261	144	55	-85	1
NEIGH 4	1	91	1800	1,802	4	97	3	-	-	1	697	299	43	-112	1
NEIGH 1	0	48	1800	3,48	12	100	0	-	-	1	1499	933	62	-114	3
NEIGH 5	0	195	1800	1,854	4	100	2	-	-	1	66	31	47	-117	1
NEIGH 6	0	252	1800	1,945	5	100	2	-	-	1	-	-	-	-	1

Figura 6.9 – Parte do relatório da célula SITE 1, PSS 1.

6.1.4 Cenário 4

Com este cenário pretende-se analisar uma célula impedida de ser removida da lista de vizinhas da célula de serviço, ver Figura 6.10, por absorver uma grande quantidade de HO, apesar de não ter medidas e de não estar orientada para a área de serviço.

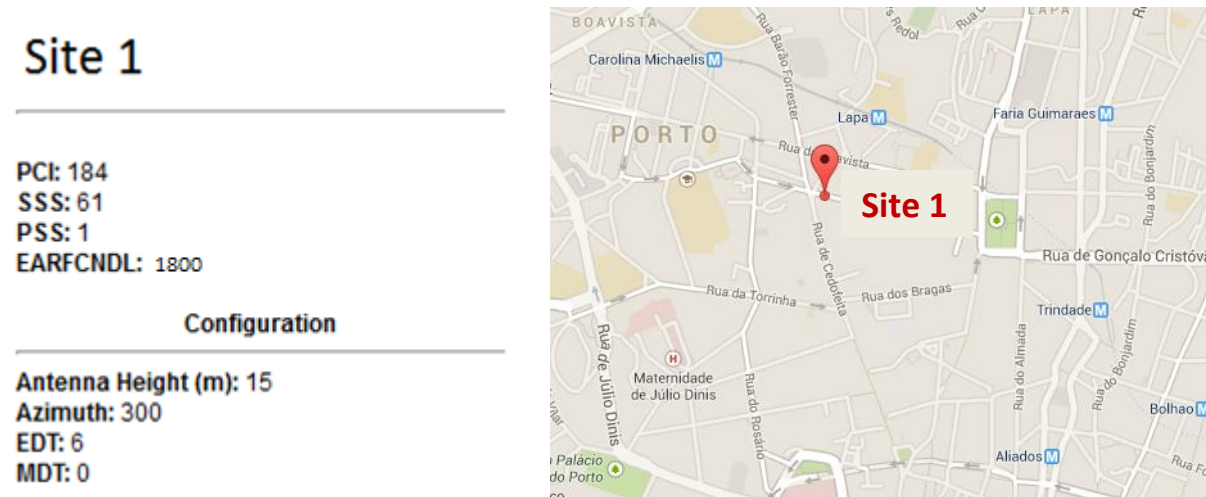


Figura 6.10 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 1.



Figura 6.11 – Optimização NCL da célula SITE 1, PSS 1.

A célula identificada com um círculo a amarelo, Figura 6.11, “Neigh 1” sector 1, orientada para Este (azimute 90°), faz parte do 2º tier e não se encontra orientada para a célula fonte, sendo deste modo classificada com *ranking* zero no critério da distância. Por sua vez, também não existem medidas relevantes, ou seja, não existem *bins* em sobreposição com a célula de serviço, recebendo o *ranking* mínimo no critério das medidas, Figura 6.12. Perante isto, seria suposto ser removida pelo algoritmo de optimização.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Measurements				
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank
SITE 1	2	185	1800	0	1	0	10	163	92	56	-99	10
SITE 1	0	183	1800	0	1	1	10	90	35	39	-110	3
NEIGH 1	1	196	1800	0,894	2	0	0	-	-	-	-	1
NEIGH 2	0	186	1800	1,455	2	100	4	38	34	89	-100	5
NEIGH 3	2	140	1800	1,057	2	76	6	18	12	67	-116	2
NEIGH 1	2	197	1800	0,894	2	71	7	-	-	-	-	1

Figura 6.12 – Parte I do relatório da célula SITE 1, PSS 1.

No entanto a célula em questão absorve a maior parte dos HO provenientes da célula de serviço, cerca de 64 %, muito mais que as próprias co-localizadas, possuindo assim o *ranking* máximo no critério das estatísticas, como se pode verificar na Figura 6.13. Posto isto, em média, a célula possui uma boa classificação (23º) na nova proposta de lista de vizinhas, sendo mantida e não removida, como seria espectável. O facto de juntar os três critérios permite resolver casos deste género, em que os dados reais da rede implementada impedem a remoção de células indevidamente.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics		
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank
SITE 1	2	185	1800	0	1	0	10	400	8	2
SITE 1	0	183	1800	0	1	1	10	242	5	1
NEIGH 1	1	196	1800	0,894	2	0	0	3162	64	10
NEIGH 2	0	186	1800	1,455	2	100	4	-	-	1
NEIGH 3	2	140	1800	1,057	2	76	6	-	-	1
NEIGH 1	2	197	1800	0,894	2	71	7	12	0	1

Figura 6.13 – Parte II do relatório da célula SITE 1, PSS 1.

6.1.5 Cenário 5

O último cenário é analisado de um modo global. Mais uma vez não existem restrições de cálculo, sendo gerada pela ferramenta de simulação uma lista intra-frequência com 32 relações de vizinhança. A célula de serviço é a detalhada na Figura 6.14.

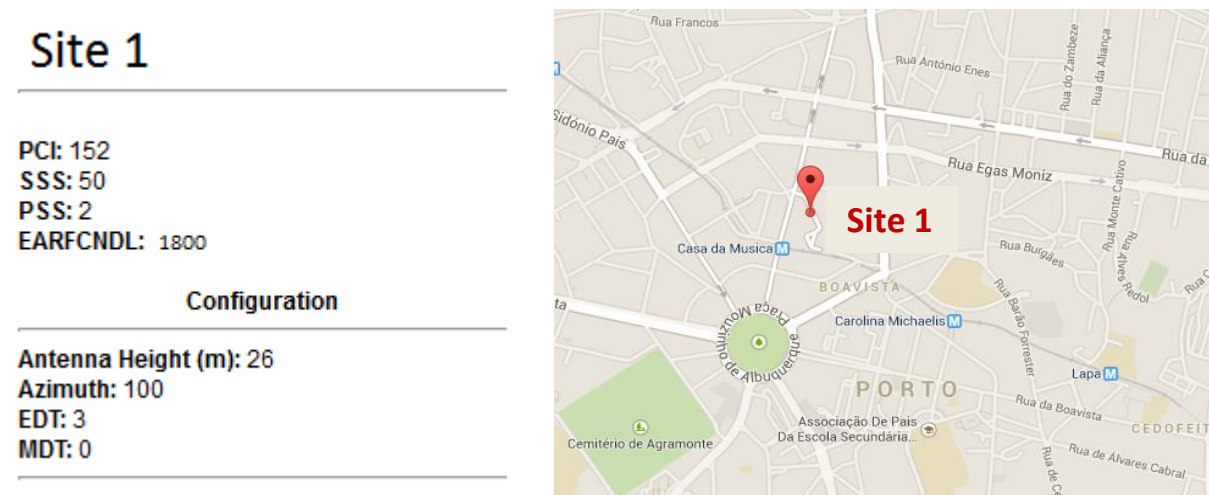


Figura 6.14 – Detalhes da célula SITE 1, PSS 2.

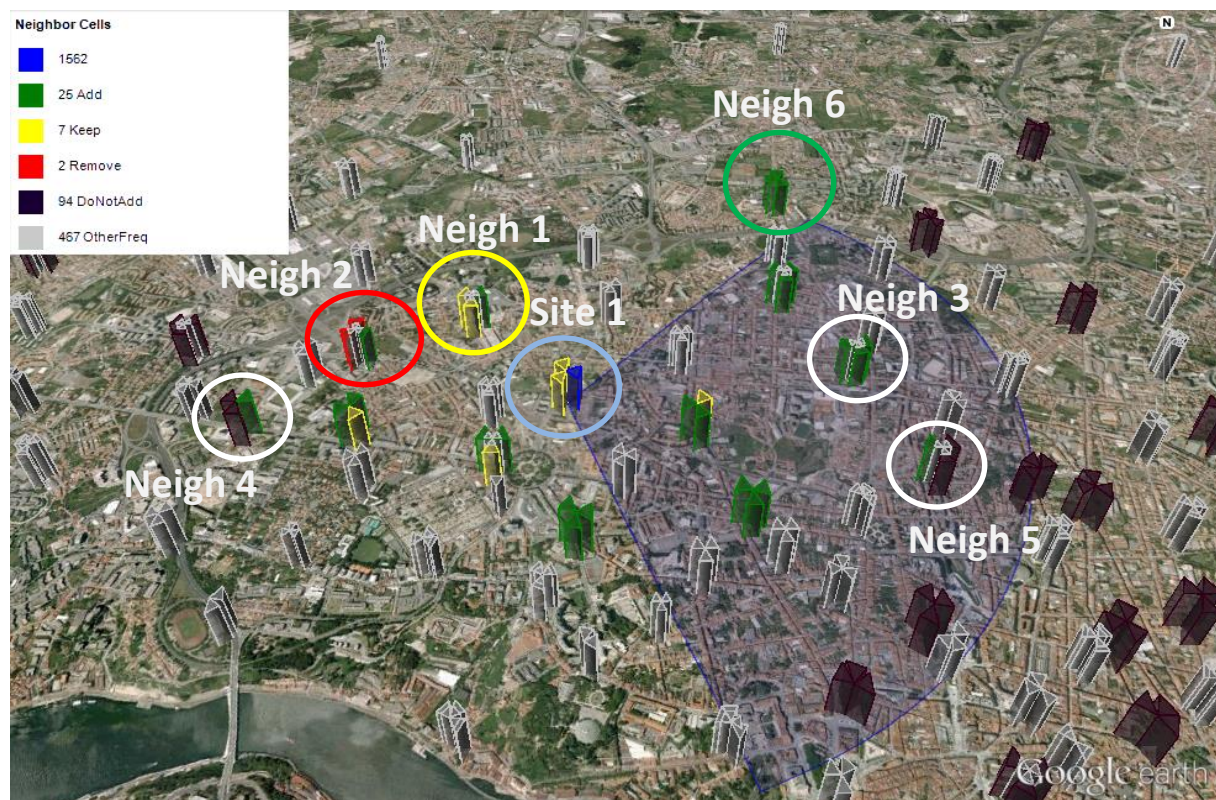


Figura 6.15 – Optimização NCL da célula SITE 1, PSS 2.

Analisando o resultado da optimização, Figura 6.15, verifica-se que foram removidas duas células da antiga lista e mantidas sete, as restantes 25 foram adicionadas, perfazendo o máximo de 32 células, Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Resultado final da otimização do cenário 5.

SITE 1 – PSS 2	
Add	25
Keep	7
Remove	2

Duas das células da estação “Neigh 2” foram removidas. Além de não estarem orientadas para a área de serviço e pertencerem ao 2º tier, o que lhes aplica *ranking* zero no critério da distância, também absorvem poucos HOs. No caso do sector 2, este não tem registo de HO em dois meses, o que resulta num *ranking* mínimo nas estatísticas, ver Figura 6.16. A única possibilidade de permanecerem na lista seria existir uma boa quantidade de medidas em *overlap* com a célula de serviço. No entanto, no caso do sector 1, a percentagem de *overlap* é relativamente elevada (62%) mas o número de *reports* não é significativo em relação a outras células, o que devidamente pesado lhe atribui um *ranking* muito baixo no critério das medidas, Figura 6.17. É curioso verificar que o único sector deste eNB que se encontra orientado não constava na antiga lista, sendo adicionado pelo algoritmo. Todas as restantes células classificadas como “keep” fazem parte do 1º tier, por isso são mantidas na lista.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics			
Site Name	PSS	PCI	EARFCN	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	
NEIGH 6	2	215	1800	1,962	1	23	1	-	-	1	
NEIGH 6	1	214	1800	1,962	1	0	1	-	-	1	
NEIGH 6	0	213	1800	1,962	1	100	2	-	-	1	
NEIGH 2	0	111	1800	1,013	2	100	7	-	-	1	
NEIGH 3	2	200	1800	1,277	3	13	5	-	-	4	
NEIGH 4	0	93	1800	1,387	3	96	5	-	-	4	
NEIGH 5	2	218	1800	1,578	4	67	3	-	-	1	
NEIGH 2	1	112	1800	1,013	2	0	0	2	0	1	
NEIGH 2	2	113	1800	1,013	2	0	0	0	0	1	

Figura 6.16 – Parte I do relatório da célula SITE 1, PSS 2.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Measurements								
Site Name	PSS	PCI	EARFCN	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	#MRs	#MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
NEIGH 6	2	215	1800	1,962	1	23	1	1083	858	79	-106	7	3	18	add	M
NEIGH 6	1	214	1800	1,962	1	0	1	339	304	90	-110	3	2	19	add	M
NEIGH 6	0	213	1800	1,962	1	100	2	32	20	62	-117	1	1	20	add	M
NEIGH 2	0	111	1800	1,013	2	100	7	182	48	26	-109	1	3	29	add	
NEIGH 3	2	200	1800	1,277	3	13	5	149	76	51	-104	1	3	30	add	
NEIGH 4	0	93	1800	1,387	3	96	5	-	-	-	-	1	3	31	add	
NEIGH 5	2	218	1800	1,578	4	67	3	3	2	67	-116	1	2	32	add	
NEIGH 2	1	112	1800	1,013	2	0	0	244	151	62	-117	1	0	0	remove	
NEIGH 2	2	113	1800	1,013	2	0	0	42	15	36	-110	1	0	0	remove	

Figura 6.17 – Parte II do relatório da célula SITE 1, PSS 2.

Note-se que o eNB “Neigh 6”, com um círculo a verde, apesar de se encontrar relativamente distante em relação às restantes estações (1.96 km), é adicionado à lista uma vez que faz parte do primeiro anel de interferência. Verifica-se também que uma das células que reúne melhores condições foi adicionada à lista, “Neigh 1” sector 2, com um círculo a amarelo. Esta possui um elevado *ranking* tanto no critério da distância como no das medidas, como se verifica na Figura 6.18. O relatório na íntegra encontra-se no Anexo A.

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics			Neighbor Cell - Measurements				
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank
SITE 1	0	150	1800	0	1	1	10	888	20	7	827	424	51	-91	2
SITE 1	1	151	1800	0	1	0	10	1445	33	10	1424	1260	88	-97	10
NEIGH 1	2	134	1800	0,73	1	51	9	-	-	8	1367	1042	76	-106	8
NEIGH 1	1	133	1800	0,73	1	49	9	1338	30	10	389	227	58	-101	2
NEIGH 1	0	132	1800	0,73	1	0	8	734	17	6	320	236	74	-115	2

Figura 6.18 – Parte III do relatório da célula SITE 1, PSS 2.

Após se analisar a nova lista gerada pela ferramenta, é importante verificar o eventual ganho obtido. Apenas nestas circunstâncias resulta uma otimização do sector, com as alterações das suas relações de vizinhança. A forma de análise do ganho, descrita no subcapítulo 4.1.4, baseia-se nas três listas apresentadas na Figura 6.19, e geradas pela ferramenta.

Old Neighbor Cell List		Best Servers List		New Neighbor Cell List	
Site Name	Cell Ref	Site Name	Cell Ref	Site Name	Cell Ref
NEIGH 2	1431	SITE 1	1561	SITE 1	1560
NEIGH 2	1432	SITE 1	1560	SITE 1	1561
NEIGH 10	1450	NEIGH 11	2011	NEIGH 1	2312
SITE 1	1560	NEIGH 7	1782	NEIGH 1	2311
SITE 1	1561	NEIGH 7	1780	NEIGH 1	2310
NEIGH 7	1780	NEIGH 3	1881	NEIGH 7	1782
NEIGH 9	2002	NEIGH 7	1781	NEIGH 8	2132
NEIGH 1	2310	NEIGH 1	2311	NEIGH 8	2131
NEIGH 1	2311	NEIGH 9	2002	NEIGH 8	2130
		NEIGH 11	2010	NEIGH 9	2002
		NEIGH 12	2112	NEIGH 9	2001
		NEIGH 12	2111	NEIGH 9	2000
		NEIGH 9	2000	NEIGH 7	1780
		NEIGH 9	2001	NEIGH 7	1781
		NEIGH 8	2131	NEIGH 10	1450
		NEIGH 6	1622	NEIGH 10	1452
		NEIGH 1	2312	NEIGH 10	1451
		SITE 2	1480	NEIGH 6	1622
		NEIGH 6	1621	NEIGH 6	1621
		SITE 3	1740	NEIGH 6	1620
		NEIGH 10	1452	NEIGH 11	2010
		SITE 4	1662	NEIGH 3	1881
		NEIGH 1	2310	NEIGH 12	2112
				NEIGH 12	2111
				NEIGH 11	2011
				NEIGH 12	2110
				NEIGH 11	2012
				NEIGH 3	1880
				NEIGH 2	1430
				NEIGH 3	1882
				NEIGH 4	2240
				NEIGH 5	1642

Figura 6.19 – Antiga NCL, lista com os best servers e nova NCL.

Ao verificar a existência dos *best servers* de cada *bin* em ambas as listas, obtém-se o correspondente nível de sinal RSRP antes e depois da otimização. Posto isto, analisando a CDF gerada, Figura 6.20, observa-se uma melhoria no nível de sinal nas imediações da célula de serviço, com a otimização da sua lista de células vizinhas. Sublinha-se que o nível de sinal presente nos *bins* é o mesmo, antes e depois da otimização. No entanto, a presença na lista de vizinhas de uma célula de destino com melhores condições num dado *bin*, implica uma melhoria no serviço, uma vez que passa a ser possível a existência de HO para a mesma, o que não se verificava em caso de inexistência.



Figura 6.20 – Ganho de otimização cenário 5.

Conclui-se que começa a existir ganho, ou seja, uma melhoria para valores de RSRP inferiores a -65 dBm. Significa isto que nos *bins* onde o nível de sinal da *best server* é melhor, maior que -65 dBm, a célula *target* correspondente se encontra em ambas as listas, não existindo otimização. Aqui o ganho verifica-se em torno dos -80 e dos -90 dBm, de 8 e 20 %, respectivamente. Essa percentagem indica a quantidade de *bins* em que uma célula com melhores condições de serviço foi adicionada à lista, em relação à anterior configuração. De referir que apenas 5% das amostras se encontram abaixo dos -110 dBm, comparativamente com 30% anteriormente. Salienta-se também que deixou de existir *bins* com RSRP inferior a -120 dBm. Por fim, verifica-se um ganho de aproximadamente 10 dB no RSRP em metade das amostras.

6.2 Ganho de Otimização de um Cluster

A otimização tem interesse se aplicada a um cluster de sites, abrangendo uma dada área geográfica. Então, criando as novas listas de vizinhas para os sites com frequência igual a 1800 MHz, representados na Figura 6.21, da esquerda para a direita, verifica-se o ganho obtido pela sua otimização.

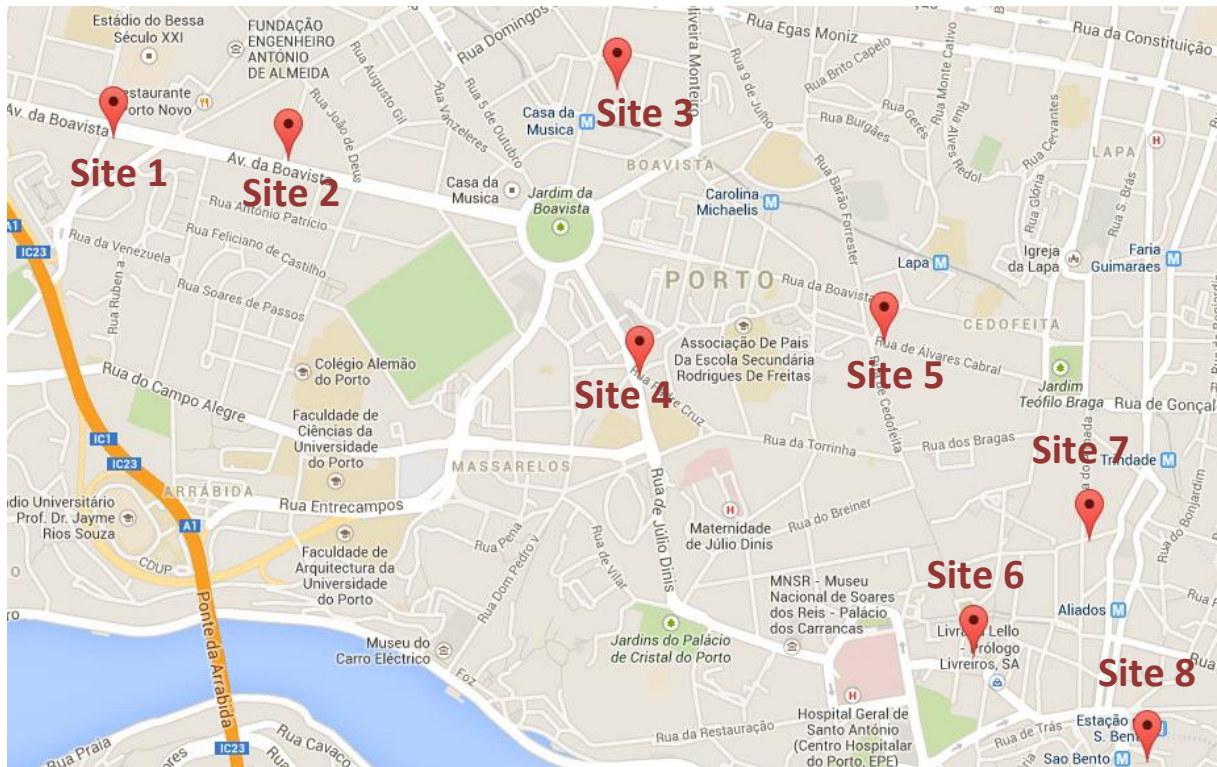


Figura 6.21 – Cluster de 8 sites 1800 no google maps.

A Figura 6.22 apresenta o mesmo *cluster* 1800 a otimizar, apresentado acima, com a respectiva orientação de cada sector, em ficheiro KML na ferramenta Google Earth®. Este é já um *output* da ferramenta, seleccionando apenas as células de serviço no ficheiro final, com todas as alterações efectuadas na lista de vizinhas.



Figura 6.22 – KML do cluster de 8 eNBs 1800.

Após se aplicar o algoritmo de otimização, é possível verificar o ganho do *cluster* resultante das modificações nas listas de células vizinhas que o constituem. Ao contrário do ganho obtido do cenário 5, este é elaborado tendo em conta os oito eNBs tri-sectorizados. São analisados todos os *bins* onde cada um dos sectores não é *best server*, seguindo a lógica apresentada no subcapítulo 4.1.4. O objectivo é aumentar a qualidade do sinal RSRP verificado na área geográfica em análise, permitindo aos utilizadores fazer HO para uma célula com melhores condições de serviço.

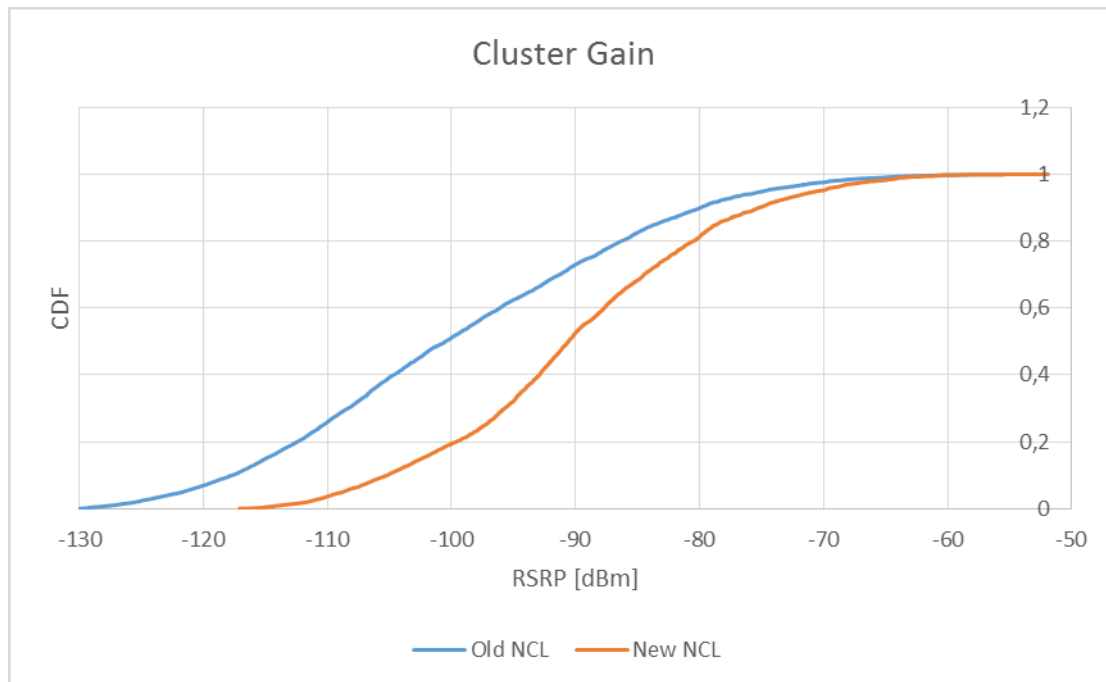


Figura 6.23 – Ganho do cluster de 8 sites 1800.

Analisando a Figura 6.23, verifica-se que a otimização em simultâneo das NCLs de todos os sectores que constituem o *cluster* resultou numa melhoria no serviço prestado aos utilizadores, espelhada na melhoria de nível de sinal. Observa-se cerca de 10 e 20 % de ganho em torno dos -80 e -90 dBm, respectivamente, indicando assim a quantidade de *bins* em que uma célula com melhores condições de serviço foi adicionada à lista, em relação à anterior configuração. Essa otimização foi mais relevante em torno dos -100 dBm, cerca de 30 %. Verifica-se também um ganho superior a 10 dB no RSRP em metade das amostras, o que é de frisar.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são revistos os objectivos propostos para este trabalho, os métodos de implementação abordados e apresentadas as conclusões com base nos resultados obtidos, partindo de um conjunto de cenários seleccionados. Finalmente apresentam-se também algumas propostas de trabalho futuro, partindo do trabalho desenvolvido.

7.1 Conclusões

Este trabalho teve como objectivo o estudo e optimização da lista de células vizinhas numa rede LTE. Este conceito surge associado às SON, onde foi abordada a sua arquitectura e funções associadas, nomeadamente a funcionalidade ANR. Uma vez que a necessidade da criação de listas de células vizinhas se prende com a questão da mobilidade e *handovers* entre células, foi também abordado teoricamente todo o processo envolvente. Assim estudou-se o modo de operação e execução do HO, a configuração das medidas bem como os respectivos parâmetros associados.

No que diz respeito propriamente às NCLs, concluiu-se que a condição básica para o estabelecimento da relação de vizinhança das células é quando a cobertura das mesmas se sobrepõe, formando uma região de HO. A lista ideal consiste nas células que satisfaçam esta condição. Como a rede em estudo se trata de um ambiente sectorizado, concluiu-se também que as células co-localizadas, sectores que pertencem ao mesmo eNB, devem constar na NCL.

A optimização pode ser aplicada a células que já estão em ambiente de produção, bem como a novas células, para as quais novas listas vizinhas deverão ser geradas, sendo que permite cobrir relações de vizinhança intra-frequência e intra-tecnologia. O algoritmo foi desenvolvido sobre a ferramenta de simulação Vismon[®], em linguagem C#, e os resultados simulados apresentados na plataforma GE e detalhadamente em ficheiro Excel[®]. A geração das novas listas de vizinhas teve como base dados reais pertencentes a uma rede 4G nacional (Vodafone). Foram ainda fornecidos pelo operador dados relativos a estatísticas de HO e medidas de nível de sinal da rede, bem como as listas de células vizinhas actuais.

A estratégia de execução do trabalho permitiu elaborar três critérios de decisão distintos para a geração das NCLs. O critério baseado na distância e orientação de cada célula de destino à célula de serviço é extremamente útil para novas redes, em que não é possível obter estatísticas nem medidas de nível de sinal, uma vez que a partir da localização geográfica e respectivo azimute de cada célula, é possível perceber se faz sentido adicionar à NCL. Já em redes implementadas permite remover da antiga lista células que não se encontrem orientadas, ou seja, de “costas” para a área de serviço em análise. No entanto, este por si só pode não ser suficiente. O facto de se conhecer a posição geográfica não implica conhecer o ambiente de propagação, podendo a célula estar obstruída por um edifício ou uma montanha, o que torna desnecessário constar na lista de vizinhas. Assim deve-se a introdução de outro critério, baseado nas medidas de nível de sinal da rede.

Este permite obter um conjunto de células onde a sua cobertura se encontra sobreposta com a célula em análise. Através das localizações onde existem medidas de sinal RSRP de ambas as células, a ferramenta verifica se a condição de sobreposição é cumprida, adicionando-as à nova NCL, mediante vários factores limitativos. Isto permite a adição de células com base em medidas reais da rede presentes no meio ambiente. No entanto, mais uma vez, este critério por si só pode não ser suficiente. Nos casos em que o *drive test* não passe em determinadas localizações, pode-se correr o risco de células com boas condições não serem adicionadas à lista.

Posto isto, concluiu-se que juntando estes dois critérios se obtém uma lista de vizinhas com melhor fiabilidade, baseada em posições geográficas e em dados reais da rede. Como complemento, implementou-se ainda um outro critério baseado nas estatísticas de HO. Este critério, usado individualmente, não permite a adição de novas células, uma vez que deriva de relações de vizinhança existentes. No entanto, quando utilizado globalmente, permite dar mais importância a células que absorvem muitos HO e dar menos importância às que absorvem uma percentagem menor.

Analisando os cenários de estudo verificou-se que a ferramenta de simulação resolveu um caso pouco frequente, adicionou uma célula co-localizada. Esta falha de relação de vizinha podia ser crítica, podendo levar à falha de serviço, se o utilizador eventualmente se movimentasse em torno da estação base. O algoritmo implementado permitiu também, no segundo cenário, adicionar o primeiro anel quase na totalidade a um eNB onde apenas três sectores se encontravam na lista, estando um deles até de “costas” para a área de serviço.

Posteriormente, no terceiro cenário, verificou-se a utilidade da inserção do critério das medidas. Além de, na lista otimizada, constar os eNBs relativamente próximos e orientados, e apesar de existirem células mais próximas (teoricamente com melhores condições de serem elegíveis) o algoritmo adicionou uma célula mais distante, a 3.48 km de distância. Como a célula se encontra orientada e com uma boa percentagem de localizações onde se verifica sobreposição com a célula de serviço, é útil constar na lista. No entanto pode-se encontrar em situação de *overshooting*, devido a uma má configuração da mesma, à altitude a que se encontra ou até mesmo ao ambiente de propagação. Apesar disso, esta deve fazer parte da lista uma vez que oferece boas condições de absorver HO da célula fonte.

No cenário quatro observou-se a utilidade de introduzir as estatísticas de HO no cálculo. Concluiu-se que uma dada célula permaneceu na nova lista, devido ao elevado número de HO absorvidos, isto apesar de não se encontrar orientada para a área de serviço nem existirem medidas relevantes.

Analisando um cenário mais abrangente, verificou-se a remoção de duas células. Estas, além de não estarem orientadas para a área de serviço e pertencerem ao segundo anel, também absorviam um número de HO residual. Foi curioso verificar que o único sector deste eNB que se encontrava orientado não constava na antiga lista, sendo adicionado pelo algoritmo. Observou-se também um eNB que fazia parte do primeiro anel, condição obrigatória. Analisando a CDF gerada do ganho de optimização, observou-se uma melhoria no nível de sinal nas imediações da célula de serviço, verificando-se um ganho em torno dos -80 e dos -90 dBm, de 8 e 20 %, respectivamente. De referir que apenas 5% das amostras se encontram abaixo dos -110 dBm, comparativamente com 30% da antiga configuração. Salienta-se também que deixou de existir *bins* com RSRP inferior a -120 dBm e que se obteve um ganho de aproximadamente 10 dB no RSRP em metade das amostras.

A presença na lista de vizinhas de uma célula de destino com melhores condições, numa determinada localização, implica uma melhoria no serviço, uma vez que se torna possível a existência de HO para a mesma, o que não se verificava em caso de inexistência. Com isto concluiu-se que existiu alguma optimização da estação analisada.

Finalmente, verificou-se o ganho obtido pela optimização de um *cluster* de oito sites, cobrindo uma dada área geográfica. Observou-se um ganho de 10 a 20 % em torno dos -80 e -90 dBm, respectivamente. Essa optimização foi mais relevante em torno dos -100 dBm, com cerca de 30 %. Por fim, verificou-se também um ganho superior a 10 dB no RSRP em metade das amostras, o que é de frisar. Concluiu-se que a optimização em simultâneo das NCLs de todos os sectores que constituem o *cluster* resultou numa possível melhoria no serviço prestado aos utilizadores.

7.2 Trabalho Futuro

Ao longo deste trabalho foram enfrentados vários problemas, alguns dos quais contornados com soluções alternativas que, embora não sendo as mais precisas, constituíam uma boa aproximação. O problema maior prendeu-se com o facto de atribuir um *ranking* a cada um dos critérios, colocando-os em “pé de igualdade”, de modo a criar um *ranking* médio geral. No entanto, no caso das estatísticas, foi necessário atribuir um *ranking* fictício às células a adicionar uma vez que não existe, como é óbvio, informação de HO. Esta é uma solução de compromisso, no sentido em que se pretendeu dar a mesma importância a células novas com base em células “semelhantes” já existentes na lista antiga. O mesmo problema se verificou no critério das medidas. O facto do *drive test* não passar em determinadas localizações não significa que não existam medidas com bom nível de sinal e consequentemente células com boas condições de serem elegíveis para a nova lista. Este vai ser o principal foco de melhoria no trabalho desenvolvido, uma vez que o projecto tem seguimento.

No seguimento do projecto prevê-se manter o mesmo critério da distância e abdicar do *ranking* geral devido aos motivos acima descritos. À lista gerada por esse mesmo critério irão adicionar-se as células com HO absorvidos e remover as células que, num determinado período de tempo, absorvam uma quantidade mínima de HO. As medidas de *scanner* servirão para confirmar se uma dada célula é realmente adicionada. Esta nova implementação já se encontra em estudo. Adicionalmente, o algoritmo poderá ser adaptado aos *reports* enviados pelos terminais móveis aos eNBs. Como os *drive tests* são feitos por equipas de técnicos no terreno, esta adaptação irá automatizar o processo de medidas.

Outro ponto a desenvolver no trabalho está relacionado com a lista de células vizinhas inter-frequência. Esta, por apresentarem características próprias, uma vez que o terminal só executa o HO mediante condições específicas, não foi desenvolvida no trabalho. O HO inter-tecnologia e a optimização de parâmetros de HO, como o *offset* e a histerese, também são pontos de trabalho futuro. A detecção de *overshooting*, células que são *best servers* em outras áreas de serviço, também já se encontra em implementação.

Anexo A

Reports das Listas de Células Vizinhas

Neste Anexo é possível observar os relatórios na sua íntegra dos cinco cenários analisados.

8.1 Relatório Cenário 1

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	2	Frequencies	2600 MHz
PCI	236	NCL Size	32
EARFCNDL	2600	Max Distance [km]	50
Latitude (°)	Lat	Tier	N/A
Longitude (°)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (°)	330	# HO	N/A
Antenna MDT (°)	3	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (°)	6		
Antenna Height (m)	30		
NCL Generated Date		19 de Julho de 2014 17:35:44	

Figura 8.1 – Summary do relatório do cenário 1.

Neighbor Algorithm Results																			
Total Added Neighbors																	19		
Total Keep Neighbors																	13		
Total Removed Neighbors																	1		
Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics				Neighbor Cell - Measurements							
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRS	# MRS Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
SITE 1	1	235	2600	0	1	0	10	-	-	10	73	20	27	-93	1	10	1	add	Co
NEIGH 3	2	230	2600	0,199	1	48	9	1214	34	10	247	206	83	-90	7	9	2	keep	M
NEIGH 3	1	229	2600	0,199	1	43	9	390	11	4	231	152	66	-86	5	6	3	keep	M
NEIGH 3	0	228	2600	0,199	1	13	9	550	15	5	238	114	48	-100	3	6	4	keep	M
NEIGH 4	0	240	2600	0,429	1	66	8	-	-	1	164	93	57	-108	3	4	5	add	M
NEIGH 4	2	242	2600	0,429	1	6	7	17	0	1	142	68	48	-107	2	3	6	keep	M
NEIGH 1	0	267	2600	0,488	1	100	8	-	-	1	6	6	100	-98	1	3	7	add	M
NEIGH 4	1	241	2600	0,429	1	28	7	36	1	1	208	70	34	-110	1	3	8	keep	M
NEIGH 1	2	269	2600	0,488	1	0	7	0	0	1	11	10	91	-100	1	3	9	keep	M
NEIGH 1	1	268	2600	0,488	1	0	7	-	-	1	3	3	100	-98	1	3	10	add	M
NEIGH 8	2	191	2600	0,744	1	100	6	-	-	1	19	17	89	-110	1	3	11	add	M
NEIGH 8	1	190	2600	0,744	1	0	5	-	-	1	-	-	-	-	1	2	12	add	M
NEIGH 8	0	189	2600	0,744	1	1	5	88	2	1	-	-	-	-	1	2	13	keep	M
NEIGH 10	1	205	2600	0,493	2	37	8	939	26	8	199	119	60	-99	3	6	14	keep	M
NEIGH 11	1	247	2600	0,894	2	10	0	36	1	1	258	254	98	-97	10	4	15	keep	M
NEIGH 10	2	206	2600	0,493	2	48	8	109	3	1	142	73	51	-96	2	3	16	keep	M
NEIGH 11	2	248	2600	0,894	2	90	5	88	2	1	302	202	67	-100	5	3	17	keep	M
NEIGH 10	0	204	2600	0,493	2	28	7	49	1	1	202	83	41	-102	2	3	18	keep	M
NEIGH 11	2	278	2600	0,569	2	100	7	6	0	1	181	91	50	-110	2	3	19	keep	M
NEIGH 9	0	201	2600	0,915	3	94	5	-	-	1	162	121	75	-107	4	3	20	add	M
NEIGH 12	2	176	2600	0,904	2	39	4	-	-	1	42	25	60	-99	1	2	21	add	M
NEIGH 12	0	174	2600	0,904	2	18	4	-	-	1	26	1	4	-116	1	2	22	add	M
NEIGH 13	1	292	2600	1,094	3	100	4	-	-	1	3	3	100	-114	1	2	23	add	M
NEIGH 2	2	194	2600	1,136	4	86	3	-	-	1	124	58	47	-101	2	2	24	add	M
NEIGH 13	0	162	2600	1,054	3	74	3	-	-	1	-	-	-	-	1	2	25	add	M
NEIGH 13	2	293	2600	1,094	3	25	3	-	-	1	46	14	30	-114	1	2	26	add	M
NEIGH 14	2	275	2600	1,2	3	100	3	-	-	1	24	24	100	-104	1	2	27	add	M
NEIGH 13	2	164	2600	1,054	3	16	3	-	-	1	-	-	-	-	1	2	28	add	M
NEIGH 5	1	169	2600	1,173	5	75	3	-	-	1	-	-	-	-	1	1	29	add	M
NEIGH 5	2	170	2600	1,173	5	25	2	-	-	1	-	-	-	-	1	1	30	add	M
NEIGH 6	0	297	2600	1,28	4	100	2	-	-	1	5	5	100	-108	1	1	31	add	M
NEIGH 7	2	173	2600	1,342	4	53	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1	32	add	M
NEIGH 2	0	192	2600	1,136	4	0	0	2	0	1	35	24	69	-102	1	0	0	remove	M

Figura 8.2 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 1.

8.2 Relatório Cenário 2

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	0	Frequencies	1800 MHz
PCI	219	NCL Size	32
EARFCNDL	1800	Max Distance [km]	50
Latitude (º)	Lat	Tier	1
Longitude (º)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (º)	210	# HO	N/A
Antenna MDT (º)	0	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (º)	5		
Antenna Height (m)	25		
NCL Generated Date	11 de Agosto de 2014 14:16:54		

Figura 8.3 – Summary do relatório do cenário 2.

Neighbor Algorithm Results																			
Total Added Neighbors		16																	
Total Keep Neighbors		4																	
Total Removed Neighbors		1																	
Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics			Neighbor Cell - Measurements								
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRS	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
SITE 1	1	220	1800	0	1	0	10	744	15	6	366	339	93	-90	9	10	1	keep	Co
SITE 1	2	221	1800	0	1	0	10	1456	30	10	174	117	67	-100	3	10	2	keep	Co
NEIGH 2	2	212	1800	0,637	1	6	7	-	-	9	391	352	90	-98	9	8	3	add	M
NEIGH 3	1	196	1800	0,45	1	37	9	-	-	4	444	411	93	-93	10	8	4	add	M
NEIGH 2	1	211	1800	0,637	1	68	8	-	-	4	318	317	100	-90	9	7	5	add	M
NEIGH 3	2	197	1800	0,45	1	16	9	-	-	4	231	198	86	-100	5	6	6	add	M
NEIGH 4	0	183	1800	0,787	1	100	7	-	-	9	-	-	-	-	1	6	7	add	M
NEIGH 5	0	216	1800	0,774	1	99	7	-	-	9	45	41	91	-105	1	6	8	add	M
NEIGH 5	1	217	1800	0,774	1	0	6	1268	26	9	26	26	100	-107	1	5	9	keep	M
NEIGH 5	2	218	1800	0,774	1	1	6	-	-	9	33	30	91	-110	1	5	10	add	M
NEIGH 4	2	185	1800	0,787	1	1	6	-	-	9	9	9	100	-111	1	5	11	add	M
NEIGH 4	1	184	1800	0,787	1	0	6	-	-	9	-	-	-	-	1	5	12	add	M
NEIGH 2	0	210	1800	0,637	1	36	8	-	-	4	194	162	84	-90	4	5	13	add	M
NEIGH 3	0	195	1800	0,45	1	22	9	-	-	4	-	-	-	-	1	5	14	add	M
NEIGH 6	2	251	1800	0,633	1	88	8	463	10	4	80	61	76	-100	2	5	15	keep	M
NEIGH 6	0	249	1800	0,633	1	12	7	-	-	4	96	59	61	-99	1	4	16	add	M
NEIGH 6	1	250	1800	0,633	1	0	7	-	-	4	33	28	85	-114	1	4	17	add	M
NEIGH 7	2	143	1800	1,316	1	76	2	-	-	2	-	-	-	-	1	1	18	add	M
NEIGH 7	0	141	1800	1,316	1	67	2	-	-	2	-	-	-	-	1	1	19	add	M
NEIGH 7	1	142	1800	1,316	1	0	1	-	-	2	-	-	-	-	1	1	20	add	M
NEIGH 1	1	253	1800	0,832	2	0	0	919	19	7	17	16	94	-104	1	0	0	remove	

Figura 8.4 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 2.

8.3 Relatório Cenário 3

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	1	Frequencies	1800 MHz
PCI	151	NCL Size	32
EARFCNDL	1800	Max Distance [km]	50
Latitude (º)	Lat	Tier	N/A
Longitude (º)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (º)	340	# HO	N/A
Antenna MDT (º)	0	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (º)	6		
Antenna Height (m)	26		
NCL Generated Date		19 de Julho de 2014 16:55:40	

Figura 8.5 – Summary do relatório do cenário 3.

Neighbor Algorithm Results	
Total Added Neighbors	24
Total Keep Neighbors	8
Total Removed Neighbors	0

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics				Neighbor Cell - Measurements							
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
SITE 1	0	150	1800	0	1	1	10	721	12	4	1286	377	29	-94	1	10	1	keep	Co
SITE 1	2	152	1800	0	1	1	10	1555	26	8	1424	534	38	-103	1	10	2	keep	Co
NEIGH 2	2	134	1800	0,73	1	51	9	-	-	6	2986	2548	85	-104	9	8	3	add	M
NEIGH 3	0	138	1800	0,506	1	0	9	1960	33	10	56	46	82	-80	1	7	4	keep	M
NEIGH 3	1	139	1800	0,506	1	50	10	1163	20	6	110	92	84	-86	1	5	5	keep	M
NEIGH 3	2	140	1800	0,506	1	50	10	415	7	3	261	144	55	-85	1	4	6	keep	M
NEIGH 2	0	132	1800	0,73	1	34	8	-	-	1	1745	1320	76	-102	4	4	7	add	M
NEIGH 7	0	177	1800	0,593	1	74	10	0	0	1	259	119	46	-111	1	4	8	keep	M
NEIGH 7	2	179	1800	0,593	1	26	9	25	0	1	205	103	50	-109	1	4	9	keep	M
NEIGH 7	1	178	1800	0,593	1	0	9	-	-	1	55	26	47	-115	1	4	10	add	M
NEIGH 2	1	133	1800	0,73	1	15	8	-	-	1	505	295	58	-97	1	3	11	add	M
NEIGH 8	2	122	1800	0,919	1	98	8	-	-	1	366	127	35	-116	1	3	12	add	M
NEIGH 9	1	142	1800	0,814	1	86	8	-	-	1	34	22	65	-95	1	3	13	add	M
NEIGH 8	1	121	1800	0,919	1	4	7	-	-	1	33	13	39	-119	1	3	14	add	M
NEIGH 8	0	120	1800	0,919	1	0	7	-	-	1	11	9	82	-107	1	3	15	add	M
NEIGH 9	2	143	1800	0,814	1	0	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	16	add	M
NEIGH 9	0	141	1800	0,814	1	0	7	65	1	1	-	-	-	-	1	3	17	keep	M
NEIGH 10	2	215	1800	1,962	1	98	2	-	-	1	2480	1909	77	-103	5	3	18	add	M
NEIGH 10	1	214	1800	1,962	1	1	1	-	-	1	633	503	79	-107	2	1	19	add	M
NEIGH 10	0	213	1800	1,962	1	32	1	-	-	1	183	112	61	-108	1	1	20	add	M
NEIGH 11	1	187	1800	1,239	2	99	5	-	-	1	2984	2773	93	-101	10	5	21	add	M
NEIGH 12	1	112	1800	1,013	2	42	7	-	-	1	1416	748	53	-109	2	3	22	add	M
NEIGH 13	1	184	1800	1,024	2	94	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	23	add	M
NEIGH 12	0	111	1800	1,013	2	53	7	-	-	1	622	284	46	-108	1	3	24	add	M
NEIGH 14	1	199	1800	1,277	3	84	5	-	-	1	506	177	35	-106	1	2	25	add	M
NEIGH 15	0	93	1800	1,387	3	91	5	-	-	1	58	40	69	-121	1	2	26	add	M
NEIGH 16	2	218	1800	1,578	4	100	4	-	-	1	-	-	-	-	1	2	27	add	M
NEIGH 17	2	221	1800	1,811	3	100	3	-	-	1	-	-	-	-	1	2	28	add	M
NEIGH 4	1	91	1800	1,802	4	97	3	-	-	1	697	299	43	-112	1	2	29	add	M
NEIGH 1	0	48	1800	3,48	12	100	0	-	-	1	1499	933	62	-114	3	1	30	add	M
NEIGH 5	0	195	1800	1,854	4	100	2	-	-	1	66	31	47	-117	1	1	31	add	M
NEIGH 6	0	252	1800	1,945	5	100	2	-	-	1	-	-	-	-	1	1	32	add	M

Figura 8.6 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 3.

8.4 Relatório Cenário 4

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	1	Frequencies	1800 MHz
PCI	184	NCL Size	32
EARFCNDL	1800	Max Distance [km]	50
Latitude (º)	Lat	Tier	N/A
Longitude (º)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (º)	300	# HO	N/A
Antenna MDT (º)	0	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (º)	6		
Antenna Height (m)	15		
NCL Generated Date		19 de Julho de 2014 17:08:24	

Figura 8.7 – Summary do relatório do cenário 4.

Neighbor Algorithm Results			
Total Added Neighbors	25		
Total Keep Neighbors	7		
Total Removed Neighbors	0		

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics				Neighbor Cell - Measurements							
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
SITE 1	2	185	1800	0	1	0	10	400	8	2	163	92	56	-99	10	10	1	keep	Co
SITE 1	0	183	1800	0	1	1	10	242	5	1	90	35	39	-110	3	10	2	keep	Co
NEIGH 4	0	177	1800	0,524	1	41	9	-	-	1	142	72	51	-97	8	6	3	add	M
NEIGH 6	1	199	1800	1,024	1	100	6	-	-	1	48	43	90	-96	8	5	4	add	M
NEIGH 4	2	179	1800	0,524	1	10	9	-	-	1	158	61	39	-92	5	5	5	add	M
NEIGH 4	1	178	1800	0,524	1	48	9	53	1	1	136	48	35	-90	4	5	6	keep	M
NEIGH 5	2	143	1800	0,678	1	52	9	553	11	2	66	0	0	0	1	4	7	keep	M
NEIGH 5	1	142	1800	0,678	1	22	8	503	10	2	-	-	-	-	1	4	8	keep	M
NEIGH 7	2	218	1800	0,786	1	100	8	-	-	2	-	-	-	-	1	4	9	add	M
NEIGH 5	0	141	1800	0,678	1	9	8	-	-	2	6	0	0	0	1	4	10	add	M
NEIGH 8	2	221	1800	0,787	1	96	8	-	-	2	-	-	-	-	1	4	11	add	M
NEIGH 6	0	198	1800	1,024	1	35	6	-	-	1	31	22	71	-107	4	4	12	add	M
NEIGH 6	2	200	1800	1,024	1	0	5	-	-	1	31	21	68	-111	3	3	13	add	M
NEIGH 7	0	216	1800	0,786	1	0	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	14	add	M
NEIGH 7	1	217	1800	0,786	1	0	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	15	add	M
NEIGH 8	0	219	1800	0,787	1	0	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	16	add	M
NEIGH 8	1	220	1800	0,787	1	0	7	-	-	1	-	-	-	-	1	3	17	add	M
NEIGH 9	2	152	1800	1,024	2	67	6	-	-	1	95	59	62	-96	8	5	18	add	M
NEIGH 1	0	195	1800	0,894	2	100	7	-	-	6	127	35	28	-105	2	5	19	add	M
NEIGH 1	1	196	1800	0,894	2	0	0	3162	64	10	-	-	-	-	1	4	20	keep	M
NEIGH 2	0	186	1800	1,455	2	100	4	-	-	1	38	34	89	-100	5	3	21	add	M
NEIGH 3	2	140	1800	1,057	2	76	6	-	-	1	18	12	67	-116	2	3	22	add	M
NEIGH 1	2	197	1800	0,894	2	71	7	12	0	1	-	-	-	-	1	3	23	keep	M
NEIGH 9	0	150	1800	1,024	2	33	6	-	-	1	9	9	100	-97	2	3	24	add	M
NEIGH 10	2	254	1800	1,11	2	100	6	-	-	1	-	-	-	-	1	3	25	add	M
NEIGH 10	0	252	1800	1,11	2	66	6	-	-	1	-	-	-	-	1	3	26	add	M
NEIGH 3	0	138	1800	1,057	2	24	6	-	-	1	-	-	-	-	1	3	27	add	M
NEIGH 11	2	263	1800	1,285	3	100	5	-	-	1	-	-	-	-	1	2	28	add	M
NEIGH 12	2	251	1800	1,346	4	100	5	-	-	1	-	-	-	-	1	2	29	add	M
NEIGH 13	1	211	1800	1,369	3	100	4	-	-	1	-	-	-	-	1	2	30	add	M
NEIGH 14	0	258	1800	1,528	4	100	3	-	-	2	-	-	-	-	1	2	31	add	M
NEIGH 15	1	283	1800	1,581	5	100	3	-	-	2	-	-	-	-	1	2	32	add	M

Figura 8.8 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 4.

8.5 Relatório Cenário 5

Source Cell Details		Requirements	
		Metric	Value
Site Name	SITE 1	Source Calculation	NCL Plan based in All Sources
Site Ref	Site Ref	List Type	Intra Freq
PSS	2	Frequencies	1800 MHz
PCI	152	NCL Size	32
EARFCNDL	1800	Max Distance [km]	50
Latitude (º)	Lat	Tier	N/A
Longitude (º)	Lon	% HO	N/A
Antenna Orientation (º)	100	# HO	N/A
Antenna MDT (º)	0	RSRP Min [dBm]	N/A
Antenna EDT (º)	3		
Antenna Height (m)	26		
NCL Generated Date		19 de Julho de 2014 16:54:24	

Figura 8.9 – Summary do relatório do cenário 5.

Neighbor Algorithm Results	
Total Added Neighbors	25
Total Keep Neighbors	7
Total Removed Neighbors	2

Neighbor Cell - Topology				Neighbor Cell - Distance				Neighbor Cell - Statistics			Neighbor Cell - Measurements								
Site Name	PSS	PCI	EARFCNDL	Distance [km]	Tier	% Orientation	Rank	abs HO	% HO	Rank	# MRs	# MRs Overlap	% Overlap	Avg RSRP [dbm]	Rank	Avg Rank	Position	State	Obs
SITE 1	0	150	1800	0	1	10	10	888	20	7	827	424	51	-91	2	10	1	keep	Co
SITE 1	1	151	1800	0	1	0	10	1445	33	10	1424	1260	88	-97	10	10	2	keep	Co
NEIGH 1	2	134	1800	0,73	1	51	9	-	-	8	1367	1042	76	-106	8	8	3	add	M
NEIGH 1	1	133	1800	0,73	1	49	9	1338	30	10	389	227	58	-101	2	7	4	keep	M
NEIGH 1	0	132	1800	0,73	1	0	8	734	17	6	320	236	74	-115	2	5	5	keep	M
NEIGH 7	2	140	1800	0,506	1	90	10	-	-	1	263	176	67	-85	2	4	6	add	M
NEIGH 8	2	143	1800	0,814	1	71	8	-	-	4	55	8	15	-107	1	4	7	add	M
NEIGH 8	1	142	1800	0,814	1	1	7	-	-	4	42	22	52	-96	1	4	8	add	M
NEIGH 8	0	141	1800	0,814	1	4	7	-	-	4	29	16	55	-112	1	4	9	add	M
NEIGH 9	2	179	1800	0,593	1	44	9	0	0	1	478	200	42	-102	1	4	10	keep	M
NEIGH 9	1	178	1800	0,593	1	36	9	-	-	1	196	105	54	-105	1	4	11	add	M
NEIGH 9	0	177	1800	0,593	1	20	9	-	-	1	522	200	38	-104	1	4	12	add	M
NEIGH 7	0	138	1800	0,506	1	10	9	33	1	1	91	84	92	-90	1	4	13	keep	M
NEIGH 7	1	139	1800	0,506	1	0	9	-	-	1	101	91	90	-87	1	4	14	add	M
NEIGH 10	0	120	1800	0,919	1	63	8	3	0	1	7	2	29	-103	1	3	15	keep	M
NEIGH 10	2	122	1800	0,919	1	19	7	-	-	1	163	124	76	-117	1	3	16	add	M
NEIGH 10	1	121	1800	0,919	1	0	7	-	-	1	41	18	44	-114	1	3	17	add	M
NEIGH 6	2	215	1800	1,962	1	23	1	-	-	1	1083	858	79	-106	7	3	18	add	M
NEIGH 6	1	214	1800	1,962	1	0	1	-	-	1	339	304	90	-110	3	2	19	add	M
NEIGH 6	0	213	1800	1,962	1	100	2	-	-	1	32	20	62	-117	1	1	20	add	M
NEIGH 11	0	186	1800	1,239	2	81	5	-	-	4	1214	950	78	-108	7	5	21	add	M
NEIGH 3	1	199	1800	1,277	3	50	5	-	-	4	568	374	66	-97	3	4	22	add	M
NEIGH 12	2	185	1800	1,024	2	38	7	-	-	4	110	78	71	-102	1	4	23	add	M
NEIGH 12	1	184	1800	1,024	2	33	7	-	-	4	95	68	72	-97	1	4	24	add	M
NEIGH 11	1	187	1800	1,239	2	5	0	-	-	1	1345	1204	90	-99	10	4	25	add	M
NEIGH 12	0	183	1800	1,024	2	15	6	-	-	4	85	47	55	-104	1	4	26	add	M
NEIGH 11	2	188	1800	1,239	2	13	5	-	-	4	362	266	73	-114	2	3	27	add	M
NEIGH 3	0	198	1800	1,277	3	43	5	-	-	4	152	77	51	-104	1	3	28	add	M
NEIGH 2	0	111	1800	1,013	2	100	7	-	-	1	182	48	26	-109	1	3	29	add	M
NEIGH 3	2	200	1800	1,277	3	13	5	-	-	4	149	76	51	-104	1	3	30	add	M
NEIGH 4	0	93	1800	1,387	3	96	5	-	-	4	-	-	-	-	1	3	31	add	M
NEIGH 5	2	218	1800	1,578	4	67	3	-	-	1	3	2	67	-116	1	2	32	add	M
NEIGH 2	1	112	1800	1,013	2	0	0	2	0	1	244	151	62	-117	1	0	0	remove	M
NEIGH 2	2	113	1800	1,013	2	0	0	0	0	1	42	15	36	-110	1	0	0	remove	M

Figura 8.10 – Detailed neighbor cell list do relatório do cenário 5.

Referências

- [1] J. F. Gonçalves, “Análise de Desempenho dos Sistemas LTE e LTE-Advanced com base em Simuladores,” IST, Lisboa, Julho 2011.
- [2] A. Dahlén e A. Johansson, “Evaluations of LTE Automatic Neighbor Relations,” TeliaSonera, Stockholm, Sweden.
- [3] ETSI TR 125 913 V7.3.0, “Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) (Release 7),” 3GPP, 2010.
- [4] “Ixia Deliver On,” 16 06 2011. [Online]. Available: <http://blogs.ixiacom.com/ixia-blog/deconstructing-lte4g-testing/>. [Acedido em 11 10 2013].
- [5] Alcatel Lucent, “The LTE Network Architecture,” 2009.
- [6] D. S. Shah, “A Tutorial on LTE Evolved UTRAN (EUTRAN) and LTE Self Organizing Networks (SON),” THE UNIVERSITY OF TEXAS AT ARLINGTON, December 2010.
- [7] Agilent Technologies, “3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges,” 2009.
- [8] Freescale Semiconductor, “Long Term Evolution Protocol Overview,” 2008.
- [9] Ericsson, “LTE - System Overview,” 2008. [Online]. Available: https://www.academia.edu/4087823/Ericsson_LTE_System_Overview. [Acedido em 14 02 2014].
- [10] “TV DIGITAL EM PORTUGAL,” [Online]. Available: http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/ano2006_2007/MEEC/Trab_17/artigo_divulgacao_ficheiros/Page1274.html. [Acedido em 14 02 2014].
- [11] “Embedded Computing Design,” [Online]. Available: <http://embedded-computing.com/article-id/?3973>. [Acedido em 24 02 2014].
- [12] Self-Optimizing Networks: The Benefits of SON in LTE, 4G Americas, Julho 2011.
- [13] U. Barth e E. Kuehn, Self-Organization in 4G Mobile Networks: Motivation and Vision, Stuttgart: Alcatel-Lucent Bell Labs.
- [14] Nomor Research GmbH, “Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long Term Evolution,” Germany, 2008.
- [15] R. Michael, “Self-Organizing Network (SON)”.
- [16] Ericsson, “Deployment Guideline, RECOMMENDATIONS,” 2011.
- [17] 3GPP TS 36.331 V10.2.0, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA),” 2011.
- [18] “LTE University,” 02 2012. [Online]. Available: http://lteuniversity.com/get_trained/expert_opinion1/b/lauroortigoza/archive/2012/02/22/handover-parameters-part-1-of-3.aspx. [Acedido em 11 2013].
- [19] 3GPP ETSI TS 136 300, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Release 10 V10.4.0,” 2011.
- [20] D. Kim, B. Shin, D. Hong e J. Lim, “Self-Configuration of Neighbor Cell List Utilizing E-UTRAN NodeB Scanning in LTE Systems,” Department of Electronic Engineering, Sogang University, Seoul, Korea, 2010.
- [21] M. Amirijoo e P. Frenger, “Neighbor Cell List and Measured Cell,” 2008.

- [22] System Platforms Research Laboratories, NEC Corporation, “Dynamic Neighbor Cell List Management for Handover Optimization in LTE,” Japan, 2011.