

## LTE - Cenário Urbano

Gonçalo Lopes, Mateo Rodriguez

## I. INTRODUÇÃO

**E**STE relatório é referente à unidade curricular de Comunicações Móveis, o trabalho tem como objetivos o estudo, otimização e planeamento de um sistema de comunicações móveis com o padrão *Long Term Evolution* (LTE) num espaço urbano. Este trabalho segue um estudo do terreno, de utilizadores e das melhores zonas para estações base, com a finalidade de obter os melhores resultados em termos de cobertura, o melhor desempenho da rede (não estar sub ou sobredimensionada) e minimização de interferência entre estações base, tendo em conta o número limitado de bandas disponíveis.

## II. ZONA DE ESTUDO

Para este trabalho foi escolhido o centro de Leiria para ser analisado (visível na figura 1). Leiria tem um média aproximada de 2300 habitantes por  $km^2$ , este valor tem em consideração toda a freguesia. Então para esta área de estudo ( $0.844 km^2$ ) ter-se-à em média 1942 habitantes (assumindo uma distribuição uniforme de habitantes por  $km^2$ ) [1].



Figura 1: Área de análise

### III. LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÕES DAS ESTAÇÕES BASE

A estações base estão localizadas em pontos altos, sem obstruções de edifícios (figura 2). No total são 5 estações base, com uma setorização de 120 graus. As configurações de cada uma podem ser observadas na tabela I.

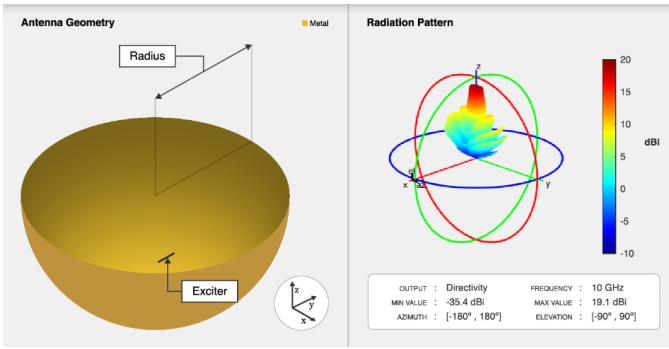
Tabela I: Configuração das Estações Base

	TX1	TX2	TX3	TX4	TX5
Altura (com edifício) [m]	22	31	25,5	20	30
Perdas [dB]	2	2	2	2	2
Potência Emitida [W]	50	50	50	50	50
Inclinação das Antenas [°]	2	1	2	2	3
N. de Antenas	3	1	2	1	3

*1) Tipo de antenas:* Para este tipo de implementação decidiu-se utilizar antenas setoriais (figura 3). Para uma cidade com uma densidade populacional grande é necessário setorizar as estações base para reutilizar bandas sem ter interferências.



Figura 2: Localização das Estações Base

Figura 3: Antena *reflectorSpherical*

#### IV. UTILIZAÇÃO DA REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

Para este estudo, supôs-se que 971 habitantes (50% da população da área de estudo) estariam sempre a utilizar a rede. Segundo [2] em média um utilizador ocupa a rede durante 132 minutos por dia, ou seja, 330 segundos por hora. Isto equivale a 0,092 Erlangs por pessoa utilizando a fórmula 1.

$$\text{Tráfego} = \frac{N\text{Chamadas}}{\text{TempoTotal}} \times \text{TempoMédioChamada} \quad (1)$$

Com isto, para 971 utilizadores equivale a 89,3 Erlangs, que para uma probabilidade de bloqueio de 2% 102 portadoras estariam sempre ocupadas.

##### A. Bandas Utilizadas

Primeiro efetuou-se um estudo do número de portadoras disponíveis para as banda b1, b3, b7 e b20 (bandas LTE) conforme a largura de banda de cada uma e o espaçamento entre sub-portadoras de 15kHz (ver tabela II) [3] [4].

Tabela II: Numero de portadoras por banda

Banda	Largura da banda [MHz]	1.4	5	10	15	20
b1	60	-	11	5	3	2
b3	75	53	14	7	4	3
b7	70	-	13	6	4	3
b20	30	-	5	2	1	1

De seguida dividiu-se as bandas em 3 partes, as antenas que apontam para norte, as que apontam para sudeste e as que apontam para sudoeste. Com isto atribuiu-se bandas a cada antena por estação base (secção A, tabela VI).

A tabela apresenta uma distribuição justa das bandas perante a distribuição de população sobre Leiria. Para melhor interpretação da tabela ver a figura 2, onde apresenta a localização de cada estação base.

Com um total de 186 portadoras, se 971 pessoas estiverem a utilizar a rede ao mesmo tempo, a rede fica a 51,6% da sua capacidade (com uma probabilidade de bloqueio de 2%). Ver tabela III.

Tabela III: Número de portadoras

Utilização %	Utilizadores	Erlangs	Portadoras necessárias
100	1867	172.3	186
75	1400	128.8	146
51,6	971	89	102

#### V. SIMULAÇÕES

##### A. Modelos de Propagação a Utilizar

Para simular a propagação das ondas rádio deve-se aplicar um modelo que seja compatível com os requisitos do trabalho, neste caso devem ser adequados para áreas urbanas. Outro aspeto a ter em atenção é a sensibilidade do dispositivo recetor, segundo [5] o limite ronda os  $-107.5\text{dBm}$ .

1) *Longley-Rice*: Este modelo de propagação é usado para calcular a cobertura em terrenos irregulares incluindo edifícios. O modelo utiliza a frequência, a distância, as alturas das antenas, as polarizações das antenas, um parâmetro  $\Delta h$  para a irregularidade do terreno, constantes elétricas, refratividade do solo e o clima [6].

Na figura 4 apresenta os resultados da simulação *Longley-Rice*.

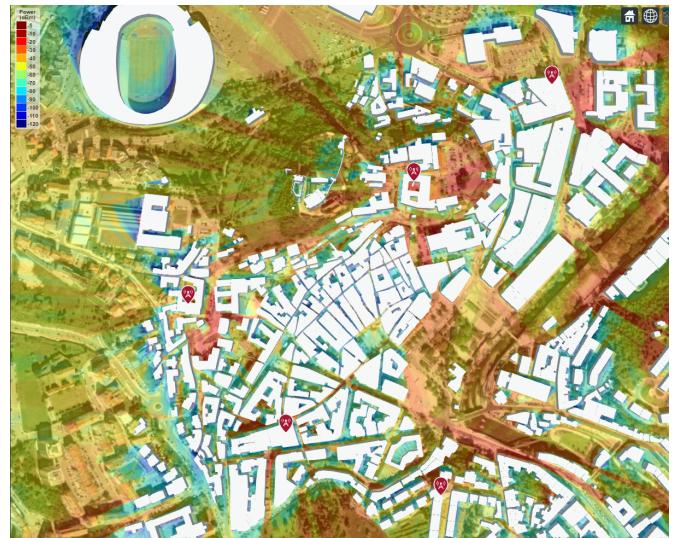


Figura 4: Propagação Longley-Rice sobre a área de estudo

2) *Raytracing*: O *Raytracing* é usado para computar uma cobertura através de raios refletidos em superfícies. As perdas de caminho são calculadas baseadas nas perdas de espaço livre, perdas na reflexão pelo material da superfície, e perdas pela polarização da antena [7]. Este método só foi usado em análises mais pequenas, porque exige muito processamento dos computadores (ver subsecção V-C).

##### B. Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio (SINR)

Para esta simulação mediu-se o SINR para saber se há interferência entre as estações base. A partir da figura 5, retira-se que não há interferências de grande importância. Existe interferências maiores sobre o rio e ao pé do estádio de Leiria,

mas essas desapareceriam ao adicionar outras estações base em redor da cidade.

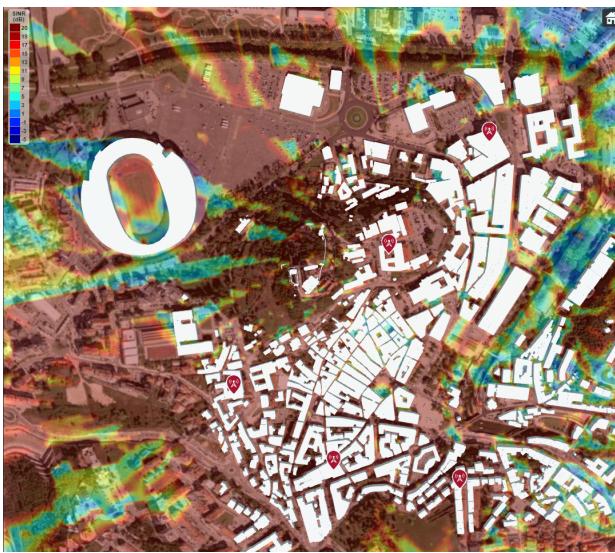


Figura 5: SINR sobre a área de estudo

### C. Best Server

Tendo já a rede estruturada, com bons resultados em termos de *SINR*, e cobertura total com o modelo de propagação *Longley-Rice*, foram realizadas duas simulações aplicando *Raytracing* com um máximo de 4 reflexões e o *Longley-Rice*.

Para a primeira simulação foram colocados 26 receptores, mais especificamente numa parte da rua D.Afonso Henriques (figura 6) para perceber como chegaria o sinal a uma rua estreita.

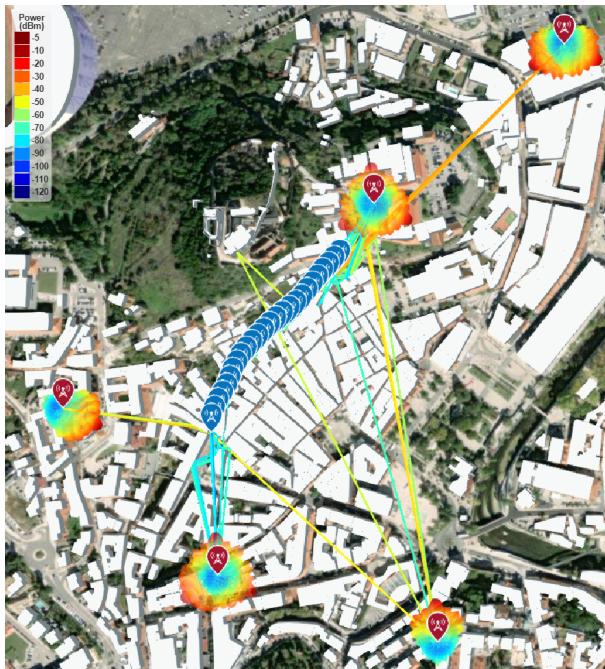


Figura 6: Propagação Raytracing sobre uma rua

A figura 7 representa os dados da figura 6 através de um gráfico. No mesmo, estão representadas as potências de cada método de propagação (a azul o *Raytracing*, a vermelho o *Longley-Rice*) para cada receptor da simulação. Conclui-se que para alguns receptores, o sinal do *Raytracing* não é suficiente para a sensibilidade do dispositivo, logo a propagação do *Longley-Rice* prevalece. Outros dados importantes sobre esta simulação estão na tabela IV, como a potência média, a estação base principal, etc...

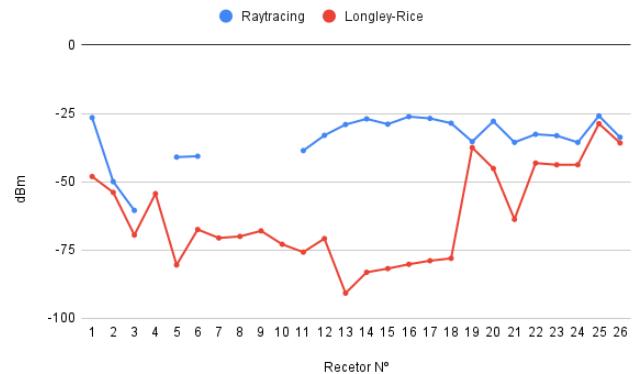


Figura 7: Potências máximas para as 26 estações móveis

Tabela IV: Dados da simulação com 26 estações móveis

Tx mais utilizado	Tx5
Banda mais utilizada	b1 2110-2147 (7)
Potência média	-40.48 dBm
Potência mínima	-72.87 dBm
Potência máxima	-25.89 dBm
% Longley-Rice	19.23
% Raytracing	80.77

Na segunda simulação foram colocados 150 estações móveis espalhadas sobre a zona de análise com uma área aproximada de  $0.23579 \text{ km}^2$  (figura 8).

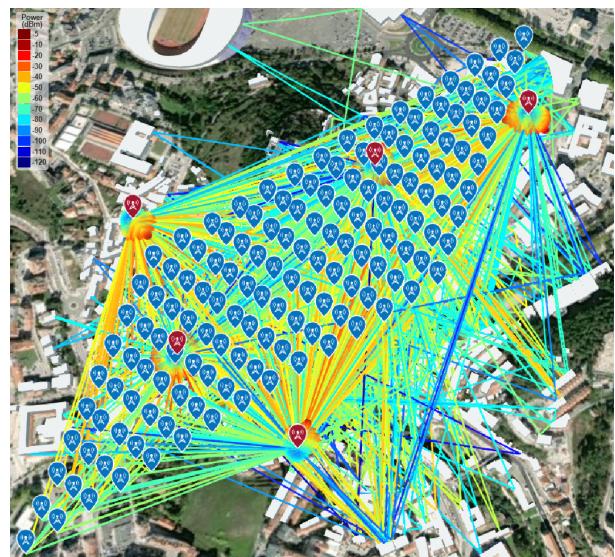


Figura 8: Propagação Raytracing sobre a área de estudo

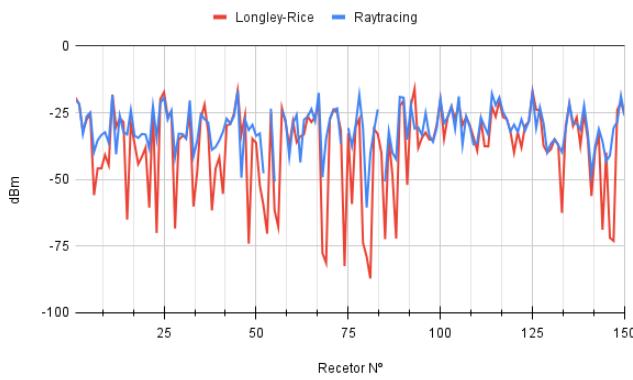


Figura 9: Potências máximas para as 150 estações móveis

A figura 9 representa em mais detalhe a figura 8, nesta comprova-se que se o dimensionamento da rede for realizado com o modelo *Longley-Rice* é sempre garantido uma potência superior à sensibilidade mínima no receptor, no entanto com o *Raytracing* isso não é garantido, pois o sinal degrada-se com cada reflexão e se o receptor estiver localizado em zonas estreitas a potência transmitida não é suficiente. A tabela V apresenta mais detalhes sobre esta simulação, comparando com a tabela IV, observa-se que há um aumento de chegada de sinal através do modelo *Longley-Rice* de 19% para 33%.

Tabela V: Dados da simulação com 150 estações móveis

Tx mais utilizado	Tx4
Banda mais utilizada	b20 791-821 (5)
Potência média	-30.98dBm
Potência mínima	-82.47dBm
Potência máxima	-16.01dBm
% Longley-Rice	33.33
% Raytracing	66.67

## VI. CONCLUSÃO

Este trabalho ajudou a perceber um pouco como é feito o estudo de uma rede de telecomunicações. Foi claramente visível o impacto que tem o planeamento de células setorizadas, para conseguir reutilizar portadoras sem degradar a qualidade de serviço. Com as simulações de cobertura conseguiu-se perceber a importância dos diferentes parâmetros como a elevação, o tipo de emissor ou mesmo a inclinação das antenas.

As simulações permitiram ter uma ideia do funcionamento teórico da rede, mas apresentaram muitas limitações, principalmente em exigências computacionais.

A limitação das frequências foi outro fator relevante no planeamento, sendo que foi necessário ajustar várias vezes as bandas para atenuar ao máximo o *SINR*, mantendo um número similar de portadoras por cada antena e ao mesmo tempo garantir canais suficientes para o tráfego considerado.

Em suma, obtivemos bons resultados, completando todos os aspectos inicialmente propostos.

## REFERÊNCIAS

- [1] “Instituto Nacional de Estatística, Censos 2011.” [Online]. Available: [https://censo.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\[\\_\]det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\[\\_\]boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcenso=61969554](https://censo.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao[_]det&contexto=pu&PUBLICACOESpub[_]boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcenso=61969554)
- [2] “• Daily time spent online by device 2021 — Statista.” [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/319732/daily-time-spent-online-device/>
- [3] “ANACOM - Frequências.” [Online]. Available: <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=382989>
- [4] “LTE Frequency Bands - HB Radiofrequency.” [Online]. Available: <https://halberdbastion.com/technology/cellular/4g-lte/lte-frequency-bands>
- [5] “LTE Radio Link Budgeting and RF Planning - lteencyclopedia.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>
- [6] A. G. L. George A Hufford and W. A. Kissick, “A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode.” [Online]. Available: <https://www.ntia.doc.gov/report/1982/guide-use-its-irregular-terrain-model-area-prediction-mode>
- [7] “Create RF propagation model.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/antenna/ref/propagationmodel.html>

## APÊNDICE

Tabela VI: Número máximo de portadoras

Direção das antenas	TX1	TX2	TX3	TX4	TX5
Norte	b3 1830-1855 (17)	b7 2620 -2690 (13)	Não Tem	Não Tem	b7 2620 -2690 (13)
		b3 1830-1855 (17)			
Sudoeste	b3 1805 -1830 (17)	Não Tem	b3 1805 -1830 (17)	Não Tem	
			b1 2110 - 2145 (7)		b1 2110 - 2145 (7)
Sudeste	b3 1855-1880 (17)	Não Tem	b3 1855-1880 (17)	b3 1855-1880 (17)	
			b20 791 - 821 (5)	b20 791 - 821 (5)	b20 791 - 821 (5)
			b1 2145 - 2170 (4)	b1 2145 - 2170 (4)	b1 2145 - 2170 (4)
Portadoras Totais: 186	51	30	50	26	29

Nota: o número entre parênteses após a banda é o numero de portadoras disponíveis para a menor largura de banda, ou seja, as bandas b1, b7 e b20 estão divididas por 5MHz + 15kHz (espaçamento entre sub-portadoras) e a banda b3 está dividida por 1.4MHz + 15kHz (ver tabela II na secção IV).