



Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP)

Ref. Contrato n. ED-CTC ABINEE 325

Atividade 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas

Relatório 1

Documento com Divulgação Restrita

Contrato n. ED-CTC ABINEE 325

Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP)

Contratante: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
(ABINEE)

Comissão de Fiscalização do Contrato: Sr. Eng. Luciano Cardim (Motorola Solutions)

Membros Técnicos: Sr. Eng. Júlio Sampaio (NSN)
Sr. Eng. Luciano Nogueira(NSN)
Sr. Eng. Geraldo Neto (Qualcomm)
Sr. Eng. Otto Silveira (Motorola Solutions)
Sr. Eng. Leonardo Ribeiro (Alcatel Lucent)
Sr. Eng. Rita Bontorim (Alcatel Lucent)
Sr. Eng. Edmundo Neder (Alcatel Lucent)

Contratada: Fundação Pe. Leonel Franca / Centro de Estudos em
Telecomunicações (CETUC)/ Pontifícia Universidade Católica do
Rio de Janeiro

Coordenadora: Marlene Pontes

Equipe Técnica: Carlos Vinicio Rodriguez Ron
Marta Pudwell Chaves de Almeida
Leonardo H. F. Gonsiorosk Silva


Folha de Revisão

Relatório 1 Rev.1


Simulações e Avaliação teórica

1.	Original	20 de janeiro de 2014
	responsável	Carlos Rodríguez
	aprovação	Marlene Pontes
2.	Revisão 1	
	responsável	
	aprovação	

Glossário


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodríguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 2 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

3GPP TS	<i>3rd Generation Partnership Project – Technical Specification</i>
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACLR	<i>Adjacent Channel Leakage Ratio</i>
APT700	<i>Asia-Pacific Telecommunity 700</i>
CETUC	Centro de Estudos em Telecomunicações
CEPT	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>
C/N	Relação Portadora a Ruído
C/I	Relação Portadora a Interferência
dB	Decibel
dBc	Decibéis relativos à portadora
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
ERP	<i>Effective Radiated Power</i>
FEC	Forward Error Correction
GT-700	Grupo de Trabalho 700 da Anatel
JTG	<i>Joint Task Group</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
I/N	Relação Interferência a Ruído
ITU-R	<i>International Telecommunications Union- Radiocommunication</i>
ISDB-T	<i>Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial</i>
MCL	<i>Multicoupling Loss</i>
MHz	<i>Megahertz</i>
OOB	<i>Out-of-Band</i>
OFDM	<i>Othogonal Frequency Domain Modulation</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
SBTVD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital
SRD	<i>Short Range Distance</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication Systems</i>

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 3 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Sumário

1. Sumário Executivo.....	5
2. Introdução.....	6
3. Descrição dos elementos dos sistemas de simulação	7
3.1. Estação transmissora de SBTVD.....	8
3.2. Estação receptora de SBTVD.....	11
3.3. eNodeB com base no LTE.....	12
3.4. UE com base no LTE	20
3.5. Metodologia de Cálculo	21
3.5.1. Avaliação MCL (Multicoupling Loss)	21
3.5.2. Avaliação por meio de simulação Monte Carlo	22
3.6. Modelos de Propagação	22
3.6.1. Modelo de Espaço Livre	22
3.6.2. Modelo de Okumura-Hata	23
3.6.3. Modelo de Okumura-Hata estendido SRD (<i>Short Range Distance</i>).....	24
3.6.4. Modelo ITU-R P.1546-4.....	25
4. Cenários de Teste.....	26
5. Resultados de Simulação	29
5.1. Testes A1 até A9. Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB) - com transmissora de TV Digital padrão <i>co-site</i>	30
5.2. Testes B1 até B9. Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB) - com transmissora de TV Digital em torres diferentes.	34
5.3. Testes C1 e C2. Interferência da Estação de Radio Base LTE nos aparelhos receptores de TV ..	37
5.4. Testes D1 e D2. Interferência do Terminal de usuário LTE nos aparelhos receptores de TV.....	45
5.5. Teste E1. Interferência do SBTVD no UE LTE	50
6. Análise de resultados e considerações	52
7. Referências.....	55

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 4 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

1. Sumário Executivo

Na avaliação de interferência de sistemas de TV Digital com sistemas de comunicação banda larga no padrão 3GPP LTE Release 11 na faixa de frequências de 700 MHz, foram realizadas as seguintes atividades:

- Análise teórica com parâmetros dos padrões das tecnologias;
- Medições em Laboratório com hardware e software com configuração de tecnologias LTE e TV Digital;
- Medições em campo com avaliação de dois tipos de sistema:
 - Equipamentos de tecnologia LTE comerciais (eNodeB e UE);
 - Receptores de TV comerciais;
 - Sistema não comercial com montagem de gerador e amplificador para TV Digital no campus do Inmetro em Xerém, RJ;
 - Sistema comercial de TV Digital no canal 52 operando na cidade de Aparecida, SP.

Na avaliação teórica foram considerados os parâmetros de equipamentos comerciais aderentes aos padrões de cada tecnologia como: máscaras de transmissão, critérios de proteção e limiares de recepção.


A avaliação teórica se mostrou com resultados conservadores aos observados nas situações práticas em campo.

Mesmo em situações de pior caso concluímos que a convivência é sempre possível, sendo que em alguns casos, há necessidade de mitigação de interferências.

A mitigação de interferência na recepção da TV Digital quando necessária, poderia ser feita, por exemplo, com:

- Separações mínimas entre antenas de TV Digital e UE como já observadas em instalações residenciais típicas com antenas de recepção externa;
- Filtros.

A interferência da TV (canal digital adjacente ou co-canal analógico) no sistema LTE não foi suficiente para afetar a disponibilidade de banda larga móvel aos usuários.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 5 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

2. Introdução

A necessidade de alocação de espectro para os sistemas IMT tem motivado estudos de alocação de serviços móveis em novas faixas de frequência devido aos requerimentos de maior capacidade, em função da previsão de espectro necessário e calculado pela Anatel em 2006 de espectro novo de 226 MHz para 2015.

Dentre as faixas de frequência consideradas, este estudo apresentará avaliação de coexistência de sistemas IMT e TV Digital na faixa de frequências de 700 MHz (no arranjo de frequências conhecido como APT700 – *Asia-Pacific Telecommunity 700*) na sua correspondente banda 28 (*uplink entre 703 e 748 MHz e downlink entre 758 e 803 MHz*) com base na opção A5 da seção 2 da Rec. ITU-R M.1036 [1]. A descrição de uso da faixa de frequências de 700 MHz está presente na Res. 625, da Anatel, de novembro de 2013 “Atribuição, a Destinação e o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências na Faixa de 698 MHz a 806 MHz”. A importância de escolha da faixa de frequência de 700 MHz para os sistemas IMT, neste estudo representados pelo LTE, é determinada pelos seguintes fatores:

- Faixa de espectro liberada, em UHF, e resultante da migração da TV Analógica para a TV Digital. Parte do espectro agora denominada como Dividendo Digital.
- Maior cobertura em relação aos sistemas celulares atuais devido às características de propagação da faixa de 700 MHz.
- Maior acesso a novos serviços de banda larga móvel.

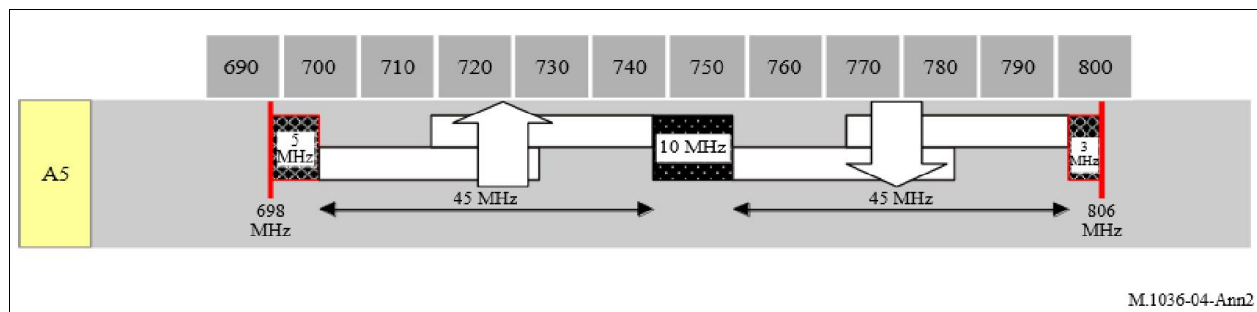


Figura 1. Arranjo de frequências A5 APT700

Novos estudos foram motivados ao mesmo tempo quando do desenvolvimento do SBTVD para cenários de compartilhamento, e desde então tanto a Indústria como a Anatel tem realizado estudos focados na avaliação da convivência de sistemas. Dentre os estudos realizados estão os relacionados ao GT-700 (Grupo de Trabalho 700 MHz).

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 6 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



Neste documento serão apresentados os resultados de uma avaliação teórica que por meio de simulações permitirá identificar cenários de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) e o Sistema Móvel LTE na faixa de frequências de 700 MHz. As simulações tem como base na metodologia MCL (*Multicoupling Loss*) e Monte Carlo com o uso da ferramenta de simulação Seamcat na sua versão 4.0.1 e aplicando metodologias de teste com base na Rec. ITU-R SM 2028[3].

Cada cenário de simulação leva em consideração a avaliação de dois parâmetros que refletem o comportamento da interferência de canal adjacente (*unwanted signal*) como do sinal de bloqueio (*blocking signal*).

A escolha dos parâmetros de cada sistema simulado se baseia nos requisitos e normas técnicas fornecidas no padrão do Sistema Brasileiro de TV digital (SBTVD) detalhado e disponível nas referências [4 a 7].


O estudo da probabilidade de interferência produzida pela eNodeB no SBTVD consiste da avaliação do parâmetro de probabilidade de interferência de canal adjacente (*Unwanted Signal*) e o sinal de bloqueio. Da mesma forma o estudo será realizado para avaliar a interferência produzida pela estação transmissora de TV Digital no eNodeB e Terminal de Usuário (EU – User Equipment) com base no padrão LTE. Do ponto de vista do receptor a avaliação considera o critério de proteção com base em degradação da sua relação portadora a interferência. Os canais de TV Digital motivo do estudo serão os canais 49, 50 e 51, que são os correspondentes adjacentes inferiores à faixa do *uplink* da canalização banda 28 do 3GPP.

3. Descrição dos elementos dos sistemas de simulação

Nesta seção serão descritos os elementos que compõem os sistemas a serem simulados, da mesma forma que os critérios de cálculo e modelos de propagação utilizados.

Os elementos dos sistemas a serem avaliados são:

- Estação transmissora de SBTVD;
- Estação receptora (set top box ou TV) de SBTVD;
- eNodeB com base no LTE release 11;
- UE de LTE release 11.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 7 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

3.1. Estação transmissora de SBTVD


O sistema de transmissão de TV Digital consiste na alocação de um canal de radiofrequência de 5.7 MHz dividido em 13 segmentos, o que permite que vários segmentos de dados possam ser configurados dependendo da transmissão ou dispositivo. Cada segmento de dados pode ter os seus próprios esquemas de codificação e usar a modulação da portadora. Para recepção móvel utiliza-se a modulação DQPSK, e para recepção fixa as modulações 16 QAM, 64 QAM ou QPSK. A largura de banda do canal com as modulações descritas permite obter taxas de dados entre 3,651 Mbps e 23,234 Mbps [5] [6].

O SBTVD tem como base o padrão japonês ISDB-T, diferindo deste nas tecnologias utilizadas para a compressão de vídeo e áudio utilizando o padrão H.264 em lugar do MPEG-2 [6].

O SBTVD apresenta três modos de transmissão estabelecendo diferentes condições em cada um destes, tais como o intervalo de guarda, determinado pela configuração da rede e o deslocamento Doppler na recepção móvel. A tabela 1 lista os parâmetros mais importantes de cada um destes modos mencionados em [4].

Tabela 1. Parâmetros do Sistema de Transmissão

Parâmetros		Valores
1	Número de Segmentos	13
2	Largura do Segmento	6000/14 = 428,57 kHz
3	Banda Ocupada	5,575 MHz (modo 1) 5,573 MHz (modo 2) 5,572 MHz (modo 3)
4	Número de Portadoras	1405 (modo 1) 2809 (modo 2) 5617 (modo 3)
5	Esquema de Modulação	DQPSK, QPSK, 16 QAM , 64 QAM
6	Duração dos símbolos ativos	252 μ s (modo 1) 504 μ s (modo 2) 1008 μ s (modo 3)
7	Espaçamento de portadoras	3,968 kHz (modo 1) 1,984 kHz (modo 2) 0,992 kHz (modo 3)
8	Duração do Intervalo de Guarda	63; 31.5 ; 15.75;7.875 μ s (modo 1)

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 8 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

	(1/4 ; 1/8; 1/16; 1/32)	126; 63; 31.5; 75.75 μ s (modo 2) 252; 126; 63; 31.5 μ s (modo 3)
9	Duração total dos símbolos	315; 283.5; 267.75; 259.875 μ s (modo 1) 628; 565; 533.5; 517.75 μ s (modo 2) 1260; 1134; 1071; 1039.5 μ s (modo 3)
10	Duração do quadro de transmissão	204 símbolos OFDM
11	Codificação de Canal	Código Convolutacional, taxa = 1/2 com 64 estados. Com taxas de 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
12	Entrelaçamento Interno	0; 380; 760; 1520 símbolos (modo 1) 0; 190; 380; 760 símbolos (modo 2) 0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3)


Fonte: Recomendações da ABNT NBR 15601 [5]

Um segmento OFDM corresponde a uma porção do espectro de frequência com uma largura de faixa de 6/14 MHz. O **modo 1** consiste de 108 portadoras; enquanto que os **modos 2** e **modo 3** tem dois vezes e quatro vezes o número de portadoras, respectivamente. As transmissões de televisão digital utilizam 13 segmentos com uma largura de banda de aproximadamente 5.7 MHz.

Um quadro OFDM consiste de 204 símbolos dos quais tem se 187 bytes mais um byte de sincronismo e 16 bytes de redundância anexado ao intervalo de guarda. Ao aumentar o valor do intervalo de guarda se consegue diminuir a taxa de bit [4][6].

Segundo a regulamentação e padronização do SBTVD, as estações transmissoras são subdivididas nas categorias Especial, A, B e C, sendo que a sua diferença é dada pela sua potência de ERP (*Effective Radiated Power*) de 80 kW, 8kW, 0,8 kW e 0,08 kW respectivamente.

A continuação apresenta-se a Figura 2 correspondente à máscara do espectro de transmissão considerando as máscaras não crítica, subcrítica e crítica estabelecidas na Recomendação da ABNT NBR 15601 [4].

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 9 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

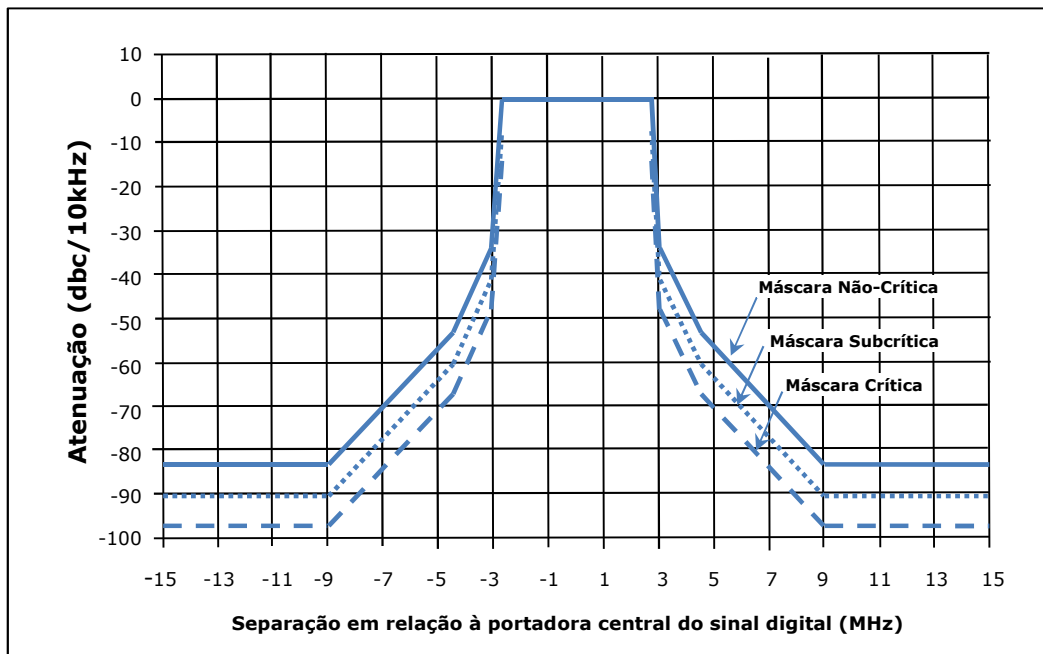



Figura 2. Máscara do espectro de transmissão para radiodifusão de SBTVD[4]

Nos cenários de simulação é adotada a máscara crítica, devido a que as portadoras interferentes sob análise não estão em situação de canal adjacente (Para Classe de estação especial). Nas situações de instalação co-site a distância é menor a 400 metros, e como o sistema LTE têm potência menor ao de TV Digital, a máscara crítica é utilizada para estações classe A, B e C. Para distâncias maiores a 400 metros e estações do tipo A, B e C a orientação da recomendação ABNT NBR 15601 é de uso da máscara crítica.

A antena utilizada para simulação é a mesma que será utilizada nos testes de campo, da empresa DB Digital Broadcast, de tipo painel modelo APO8:

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 10 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

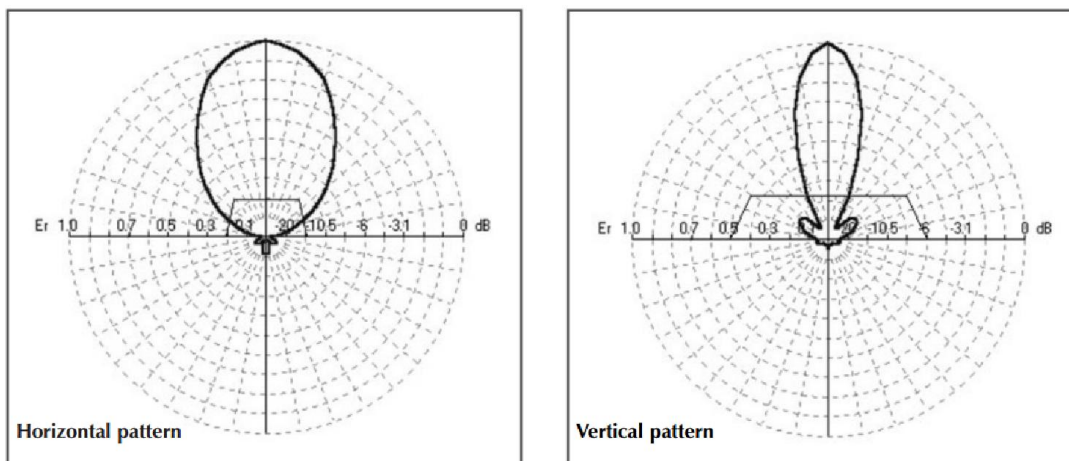


Figura 3. Diagrama de radiação de antena para SBTVD (ganho de 12 dBd)

3.2. Estação receptora de SBTVD

Na tabela 2 estabelecem-se as principais características do receptor de televisão digital a fim de obter o nível mínimo de entrada [5].

Tabela 2. Características do Receptor de TV digital

NÍVEL MÍNIMO DE ENTRADA			
FATOR	SÍMBOLO	VALOR	FORMULA/COMENTÁRIOS
Largura de Faixa	B (MHz)	5,7	
Constante de Boltzmann	k (Ws/k)	1,38E-23	
Temperatura Absoluta	T(Kelvin)	290	
Ruído Térmico	Nt (dBm)	-106,42	$N_t = 10 \log(kTB) + 30$ (dBw => dBm)
Figura de Ruído do Receptor	Nr(dB)	10	
Limiar de C/N	C/N (dB)	19	64QAM ; FEC 3/4
Mínima Potência do Sinal	Ps (dBm)	-77,4	$P_s = N_t + N_r + C/I$

Considerando a distância da localização do transmissor, a maioria das transmissoras de televisão digital utiliza a configuração dos parâmetros de transmissão [7] definidos seguindo o modo 3, uma taxa de intervalo de guarda de

CETUC	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 11 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



1/8 que implica a duração do intervalo de guarda igual a 126 microsegundos [4], os programas de HDTV transmitidos usando um esquema de modulação 64 QAM, com o uma taxa de código interno igual a 3/4 e aproximadamente o *time interleaving* igual a 200 milissegundos [4].

A respeito dos critérios de proteção para emissões fora da faixa, segundo as especificações para o receptor a relação de proteção é igual a -29 dB [5] assumindo um canal adjacente superior na banda UHF. Para interferência co-canal o valor de +24 dB ou maior é recomendado.

Adicionalmente a recomendação da ITU-BT.1895 apresenta um critério de proteção para sistemas de radiodifusão em duas situações: quando um sinal interferente está fora da faixa de radiodifusão o critério de proteção da relação entre o sinal interferente e o ruído não deverá exceder o 1% do valor do ruído, ou $I/N = -20$ dB. No caso de sinais interferentes em faixa alocada aos sistemas de radiodifusão, o critério de proteção é de 10% do sinal interferente do total do ruído, ou seja $I/N = -10$ dB.


No nosso estudo abordaremos os dois critérios, o de proteção de canal adjacente de -29 dB e o critério de proteção $I/N = -10$ dB.

3.3. eNodeB com base no LTE

Os parâmetros técnicos foram obtidos a partir das especificações técnicas do 3GPP, nos seus documentos TS 36.104 para as estações base (eNodeB) e TS 36.101 para o equipamento do usuário (UE).

A respeito da potência de transmissão, são definidas as classes de estação:

- Estações *Wide Area*: Estações com área de cobertura ampla, que com base na Res. 625 de 2013 apresenta valores de ERP máximos de 60 dBm.
- Estações *Medium Range*: Estações com potência menor ou igual a 38 dBm.
- Estações *Local Area*: São estações com potência de transmissão menor ou igual a 24 dBm.
- Estações *Home*: Com as suas características de potência de transmissão de:
 - Menor ou igual a 20 dBm para uma antena de transmissão;
 - Menor ou igual a 17 dBm para duas antenas de transmissão;
 - Menor ou igual a 14 dBm para três antenas de transmissão;
 - Menor ou igual a 11 dBm para quatro antenas de transmissão.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 12 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

O presente estudo considerará a simulação de estações do tipo Wide Area, com as características de transmissão com base na tabela 3.

Tabela 3. Características da estação eNodeB LTE para 20 MHz eNodeB rural (Wide Area)


Parâmetros	Unidades	Valor
Largura de banda de transmissão	MHz	5, 10, 15, 20
Ganho da Antena	dBi	16.1
Potência de Transmissão	dBm	46
Altura da antena	m	30
Figura de ruído do receptor	dB	5
<i>Downtilt</i>	Graus (°)	3

As emissões fora da banda (OOB – Out of Band) para o eNodeB LTE são representadas pela sua máscara de emissão espectral (SEM – *Spectrum Emission Mask*):

- $-7\text{dBm}-1.4(f_{\text{offset}}-0.05)$ para frequências de separação (f_{offset}) entre 0.05 MHz e 5.05 MHz. Valores para largura de banda de medição de 100 kHz.
- -14 dBm para frequências de separação (f_{offset}) entre 5.05 MHz e 10.05 MHz. Valores para largura de banda de medição de 100 kHz.
- -13 dBm para frequências de separação (f_{offset}) entre 10.05 MHz e 15.05 MHz. Valores para largura de banda de medição de 100 kHz.
- Para frequências acima de 15 MHz de separação, o valor de emissão espúria adotado será de $-36\text{ dBm}/100\text{kHz}$ (tabela V da Res. 625 da Anatel e tabela 6.6.4.1.2.1-1 do TS 36.104).

Para determinar as características de recepção da estação base, foi seguido o documento TS 36.104 do 3GPP onde são definidos os seguintes aspectos de recepção do eNodeB nas categorias *Wide Area*, *Medium Area*, *Local Area* e *Home*:

- Sensibilidade do eNodeB (Seção 7.2 do TS 36.104);
- Range Dinâmico (Seção 7.3 do TS 36.104);
- ICS (In-channel Selectivity) (Seção 7.4 do TS 36.104);
- ACS (Adjacent Channel Selectivity) (Seção 7.5 do TS 36.104);
- Bloqueio (Seção 7.6 do TS 36.104).

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 13 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1


Sensibilidade.

Os valores de sensibilidade tabelados pelo 3GPP correspondem a valores medidos nos quais a vazão requerida é satisfeita. Este valor depende da largura de banda do sinal LTE.

As tabelas de sensibilidade do 3GPP são reproduzidas a seguir:

Tabela 4. Sensibilidade (PRFSSENS) de eNodeB LTE

Para estações base do tipo <i>Wide Area</i>		
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Sensibilidade (PRFSSENS) [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-106.8	FRC A1-1
3	-103.0	FRC A1-2
5	-101.5	FRC A1-3
10	-101.5	FRC A1-3
15	-101.5	FRC A1-3
20	-101.5	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Local Area</i>		
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Sensibilidade [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-98.8	FRC A1-1
3	-95.0	FRC A1-2
5	-93.5	FRC A1-3
10	-93.5	FRC A1-3
15	-93.5	FRC A1-3
20	-93.5	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Home</i>		
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Sensibilidade [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-98.8	FRC A1-1
3	-95.0	FRC A1-2
5	-93.5	FRC A1-3
10	-93.5	FRC A1-3
15	-93.5	FRC A1-3
20	-93.5	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Medium Range</i>		
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Sensibilidade [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-101.8	FRC A1-1
3	-98.0	FRC A1-2

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 14 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1


5	-96.5	FRC A1-3
10	-96.5	FRC A1-3
15	-96.5	FRC A1-3
20	-96.5	FRC A1-3

Range Dinâmico.

Na definição da range dinâmica do receptor, é indicado que é uma medida da capacidade do receptor de receber um sinal desejado na presença de um sinal interferente dentro do canal de recepção. Os valores de referência com base em medições de canal e ruído aditivo gaussiano branco são:

Tabela 5. Range Dinâmica do eNodeB LTE

Para estações base do tipo <i>Wide Area</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-76.3	-88.7	FRC A1-1
3	-72.4	-84.7	FRC A1-2
5	-70.2	-82.5	FRC A1-3
10	-70.2	-79.5	FRC A1-3
15	-70.2	-77.7	FRC A1-3
20	-70.2	-76.4	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Local Area</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-68.3	-80.7	FRC A1-1
3	-64.4	-76.7	FRC A1-2
5	-62.2	-74.5	FRC A1-3
10	-62.2	-71.5	FRC A1-3
15	-62.2	-69.7	FRC A1-3
20	-62.2	-68.4	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Home</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-31.8	-44.2	FRC A1-1
3	-27.9	-40.2	FRC A1-2
5	-25.7	-38	FRC A1-3

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 15 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

10	-25.7	-35	FRC A1-3
15	-25.7	-33.2	FRC A1-3
20	-25.7	-31.9	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Medium Range</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-71.3	-83.7	FRC A1-1
3	-67.4	-79.7	FRC A1-2
5	-65.2	-77.5	FRC A1-3
10	-65.2	-74.5	FRC A1-3
15	-65.2	-72.7	FRC A1-3
20	-65.2	-71.4	FRC A1-3

ICS (In-Channel Selectivity).

É a capacidade do receptor, obter um sinal desejado (nos seus RB-Resource Blocks designados) quando da presença de um sinal interferente alto. No estudo em questão este tipo de interferência não será avaliado, dada a existência de banda de guarda de 5 MHz entre o sinal interferente (de TV) e o sinal Uplink do LTE.


ACS (Adjacent Channel Selectivity).

É uma medida da capacidade do receptor de obter um sinal desejado no seu canal, quando da presença de um sinal interferente num canal adjacente separado por meio de um offset desde o limite da banda do canal desejado.

A tabela de valores de requerimento mínimo são:

Tabela 6. ACS do eNodeB LTE

Para estações base do tipo <i>Wide Area</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-76.3	-88.7	FRC A1-1
3	-72.4	-84.7	FRC A1-2
5	-70.2	-82.5	FRC A1-3
10	-70.2	-79.5	FRC A1-3
15	-70.2	-77.7	FRC A1-3
20	-70.2	-76.4	FRC A1-3


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014 Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 16 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Para estações base do tipo <i>Local Area</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-68.3	-80.7	FRC A1-1
3	-64.4	-76.7	FRC A1-2
5	-62.2	-74.5	FRC A1-3
10	-62.2	-71.5	FRC A1-3
15	-62.2	-69.7	FRC A1-3
20	-62.2	-68.4	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Home</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-31.8	-44.2	FRC A1-1
3	-27.9	-40.2	FRC A1-2
5	-25.7	-38	FRC A1-3
10	-25.7	-35	FRC A1-3
15	-25.7	-33.2	FRC A1-3
20	-25.7	-31.9	FRC A1-3
Para estações base do tipo <i>Medium Range</i>			
Largura de Banda do canal E-UTRA [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]	Sinal medido de referência
1.4	-71.3	-83.7	FRC A1-1
3	-67.4	-79.7	FRC A1-2
5	-65.2	-77.5	FRC A1-3
10	-65.2	-74.5	FRC A1-3
15	-65.2	-72.7	FRC A1-3
20	-65.2	-71.4	FRC A1-3

A seletividade de canal adjacente, especificados pelo 3GPP consideram valores de interferência para canais imediatamente adjacentes ao canal sob análise, ou seja valores que não se aplicam para o caso da interferência produzida pelos transmissores de TV Digital.

Bloqueio.

Os sinais de bloqueio no 3GPP são definidos para sinais interferentes dentro da banda de operação do sistema, por meio de sinais conhecidos nas faixas de 1.4MHz, 3 MHz ou 5 MHz com características de E-UTRA ou LTE, e para sinais fora


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 17 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

da banda considerando sinais CW (*Constant Wave*). Os valores de bloqueio dentro e fora da banda são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 7. Bloqueio do eNodeB LTE

Para estações base do tipo <i>Wide Area</i>		
Frequência central do interferente [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]
683 a 768 (dentro da banda)	PRFSENS+6dB	-43
<683 e >768 (fora da banda)	PRFSENS+6dB	-15
Para estações base do tipo <i>Local Area</i>		
Frequência central do interferente [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]
683 a 768 (dentro da banda)	PRFSENS+6dB	-35
<683 e >768 (fora da banda)	PRFSENS+6dB	-15
Para estações base do tipo <i>Home</i>		
Frequência central do interferente [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]
683 a 768 (dentro da banda)	PRFSENS+6dB	-27
<683 e >768 (fora da banda)	PRFSENS+6dB	-15
Para estações base do tipo <i>Medium Range</i>		
Frequência central do interferente [MHz]	Potência média do sinal desejado [dBm]	Potência média do sinal interferente AWGN [dBm]
683 a 768 (dentro da banda)	PRFSENS+6dB	-38
<683 e >768 (fora da banda)	PRFSENS+6dB	-15

No documento TS 36.104 também é apresentado o requerimento mínimo para situação de instalações co-site com estações base em outras faixas de frequência, o valor de bloqueio neste caso deverá ser de +16 dBm (para estações do tipo *Wide Area*), -6 dBm (para estações do tipo *Local Area*) e +8dBm para as estações do tipo *Medium Range*, considerando um sinal interferente do tipo Constant Wave (CW). Não há referência de caso co-site com outros sistemas como o de radiodifusão.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 18 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Para resumir e exemplificar os valores de interferência máxima permitida na estação base (eNodeB) LTE, a seguir é indicada uma figura na qual estão representados os parâmetros que serão avaliados a respeito de interferência produzida pela TV Digital.

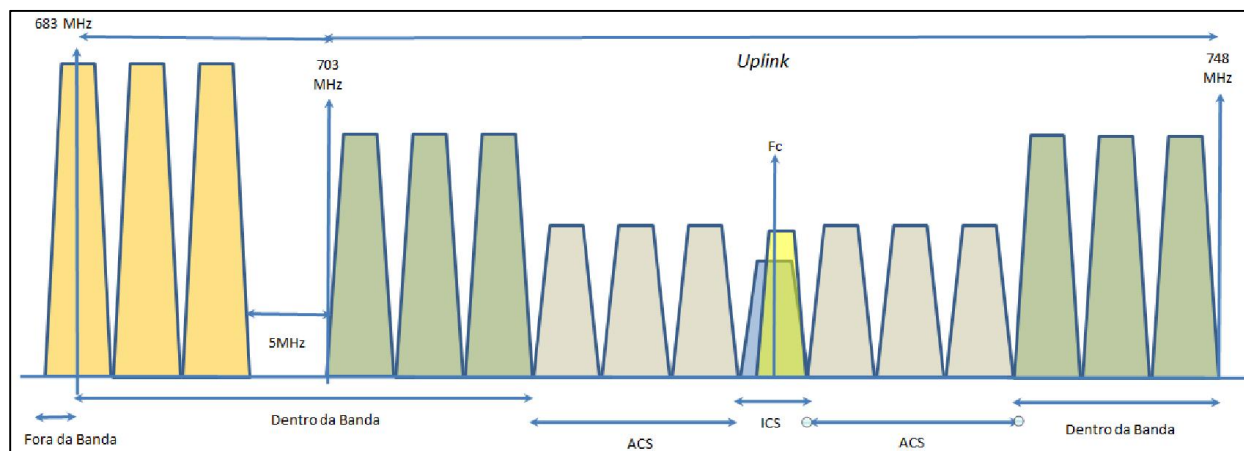


Figura 5. Sinais Interferentes no receptor do eNodeB LTE.

Com base na figura 5, podemos estabelecer que os valores de referência para interferência da TV Digital no eNodeB correspondem as emissões dentro da banda, indicados na tabela 7.

O diagrama de radiação das antenas do eNodeB utilizado nas simulações, é apresentado na figura 6.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 19 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

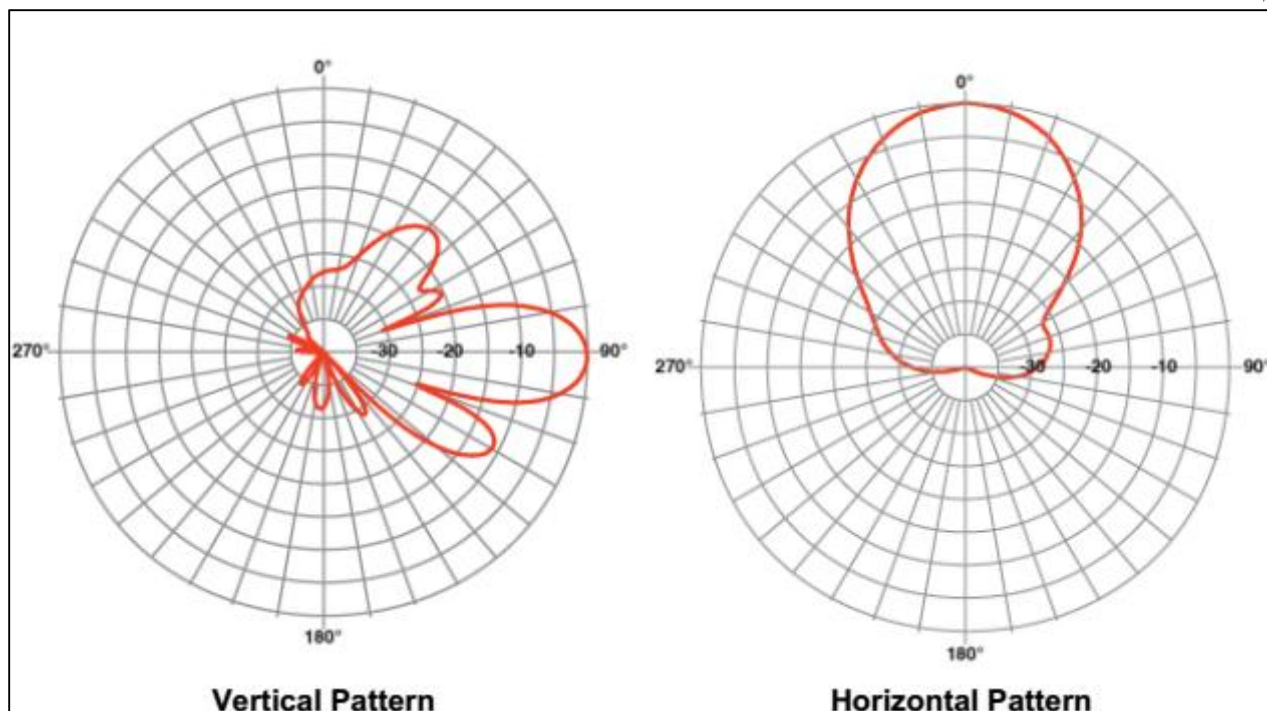


Figura 6. Diagrama de Radiação da Antena para eNodeB (Fabricante: RFS, Modelo: APX75-864014-CT0 com 16.1 dBi de ganho).

3.4. UE com base no LTE

A máscara de emissão adotada para o terminal de usuário LTE é com base no padrão 3GPP TS 36.101:

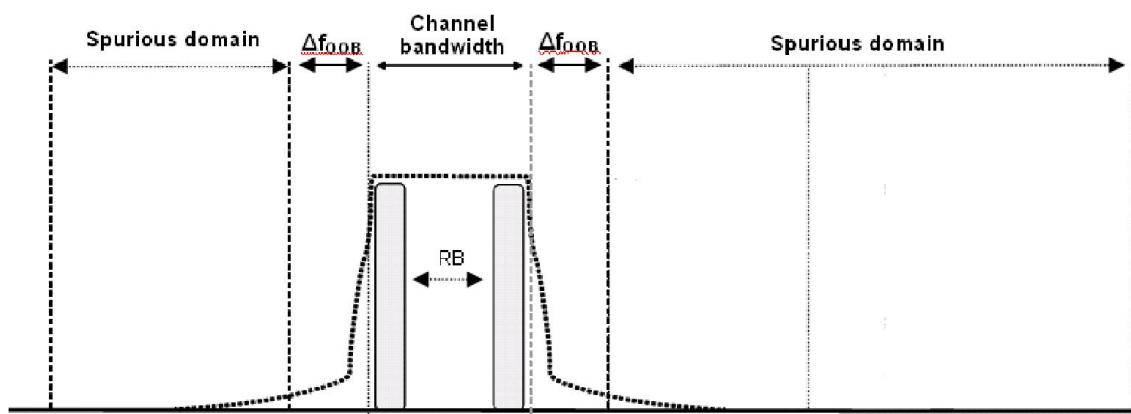


Figura 7. Emissões fora da banda e no domínio dos espúrios .

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 20 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Tabela 8. Máscara de emissão do terminal LTE

Spectrum emission limit (dBm)/ Channel bandwidth							
Δf_{OoB} (MHz)	1.4 MHz	3.0 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Measurement bandwidth
$\pm 0-1$	-10	-13	-15	-18	-20	-21	30 kHz
$\pm 1-2.5$	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2.5-2.8$	-25	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2.8-5$		-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 5-6$		-25	-13	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 6-10$			-25	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 10-15$				-25	-13	-13	1 MHz
$\pm 15-20$					-25	-13	1 MHz
$\pm 20-25$						-25	1 MHz

Com base na Res. 625 a emissão fora da faixa para frequências de offset abaixo de 698MHz deverá ser de -34 dBm/MHz.

Para o terminal de usuário foi considerada uma potência de transmissão de 23 dBm, ganho de antena de 0 dBi e altura de 1.5 metros. A figura de ruído do receptor móvel é de 9 dB.

O critério de proteção I/N para sistemas LTE (tanto eNodeB como UE) é considerado em -6 dB (Ver Anexo 1).

No caso do receptor móvel, as características de Seletividade, e bloqueio in-band não serão consideradas, pois as frequências de separação entre o transmissor interferente (TV Digital) e o sistema vítima (UE LTE) estão acima de 15 MHz (TS 36.101 item 7.6.2). Nesta situação o parâmetro adotado de proteção de bloqueio é o de fora de banda que segundo a especificação do 3GPP é para uma separação de frequências entre 673 e 698 MHz tem o valor de -30 dBm.


3.5. Metodologia de Cálculo

Os cálculos foram realizados com base nas seguintes metodologias:

- Avaliação MCL (*Multicoupling Loss*)
- Avaliação por meio de simulação Monte Carlo

3.5.1. Avaliação MCL (Multicoupling Loss)

O método de MCL calcula o isolamento necessário entre interferente e vítima para assegurar que não haja interferência. O resultado de um cálculo MCL pode levar a

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 21 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

uma distância de separação após ter escolhido um modelo de perda de propagação apropriado. No presente estudo utilizamos o modelo de espaço livre, o modelo de Okumura-Hata para distâncias acima de 1 km e o modelo de Okumura-Hata (SRD-*Short Range Distance*) para distâncias abaixo de 1 km.

3.5.2. Avaliação por meio de simulação Monte Carlo

Esta metodologia é aplicada em alguns estudos para modelar com melhor precisão a interferência, onde é necessária a agregação de interferência de equipamentos de múltiplos usuários, e onde as localizações dos receptores vítima e transmissores, assim como as potências de transmissão dos equipamentos e características particulares dos receptores são descritos em detalhe. Esta metodologia reflete as variações estatísticas que aparecem quando uma ou algumas interferências são dominantes. Os resultados de cálculo também fornecem um meio mais realista entre a interação entre os enlaces de rádio ou, inclusive, para a avaliação de perda de capacidade em uma rede IMT, por exemplo, através de controle de potência e programação.

É de notar que este método é compatível com o cenário que visa garantir o critério de proteção I/N.

3.6. Modelos de Propagação


Os modelos de propagação considerados neste estudo refletem as diferentes particularidades de ambiente e distância. Os modelos empregados na simulação são apresentados a seguir.

- Modelo de Espaço Livre;
- Modelo de Okumura-Hata;
- Modelo de Okumura-Hata SRD (*Short Range Distance*);
- Recomendação ITU-R P.1546-4.

3.6.1. Modelo de Espaço Livre

Este modelo é o mais simples de todos, e, neste estudo será utilizado quando haja linha de visada direta entre o transmissor interferente e o receptor vítima, é o caso mais pessimista de interferência e nos casos de uso do método MCL, será comparado com o modelo de propagação Okumura-Hata.

A expressão de cálculo do modelo de espaço livre é dada por:

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 22 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

$$L_{\text{ESPAÇO_LIVRE}} = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f) \text{ [dB]}$$

Onde,

d é a distância entre transmissor e receptor em quilômetros,

f é a frequência de operação do receptor em MHz.

3.6.2. Modelo de Okumura-Hata

Modelo obtido a partir de uma campanha de medidas realizada em Tóquio, nas frequências entre 100 e 1920 MHz. Este método é o mais utilizado para cálculo de perda de propagação em áreas urbanas. Em primeiro lugar Okumura, por meio de um conjunto de curvas, permitia a obtenção da perda média relativa ao espaço livre com variação de parâmetros como a distância entre transmissor e receptor, frequência de operação, alturas das antenas e fatores de correção dependendo do ambiente de cálculo.

Posteriormente, Hata formalizou o modelo por meio de relações matemáticas entre os parâmetros e as figuras, estas expressões matemáticas são conhecidas atualmente como o modelo de Okumura-Hata. Com ajuda das expressões de cálculo obtemos a perda média de propagação ao variar os diferentes parâmetros identificados também nas curvas de Okumura.

A validade do modelo, é função da range de valores que os parâmetros de entrada tem. Este modelo é válido para frequências entre 150 e 1500 MHz, altura da estação rádio base entre 30 e 200 metros, altura da estação móvel entre 1 e 10 metros e distâncias entre 1 e 20 km.


A perda básica de propagação é obtida por meio da seguinte expressão:

$$L_{\text{OKUMURA_HATA}} = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_b) - a(h_m) + b(h_b) \log(d)$$

Onde,

$a(h_m)$ é um fator de correção que depende da altura da estação móvel e $b(h_b)$ fator que depende da altura do transmissor:

- para áreas urbanas:
 - para cidades pequenas ou medianas:

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 23 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

$$a(h_m) = (1.1\log(f) - 0.7)h_m - (1.56\log(f) - 0.8)$$

- para cidades grandes:

$$a(h_m) = 8.29(\log(1.54h_m))^2 - 1.1 \text{ para } f \text{ menor a } 200 \text{ MHz}$$

$$a(h_m) = 3.2(\log(11.75h_m))^2 - 4.97 \text{ para } f \text{ maior a } 200 \text{ MHz}$$

$$b(h_b) = 44.9 - 6.55\log(h_b)$$

- para áreas suburbanas:

$$L_{OKUMURA_HATA} = L_{OKUMURA_HATA}(\text{Urbano}) - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4$$

- para áreas rurais:

$$L_{OKUMURA_HATA} = L_{OKUMURA_HATA}(\text{Urbano}) - 4.78\log(f)^2 + 18.33\log(f) - 40.94$$


3.6.3. Modelo de Okumura-Hata estendido SRD (*Short Range Distance*)

Como foi visto na seção 2.6.2, o modelo Okumura-Hata foi originalmente desenvolvido para ambientes onde não há condição de visada direta em caminhos em ambientes urbanos típicos.

A variação Hata-SRD foi desenvolvida pelo CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) dentro da equipe do projeto SE24 para estudos de Equipamento de pequeno alcance. A base para a modificação é um pressuposto de que, embora os dispositivos SRD sejam normalmente operados a baixas alturas de antena, ex. 1.5 metros, a interferência normalmente ocorreria a distâncias relativamente curtas (de até 100 m ou mais) em condições de visada direta.

Portanto, o modelo Hata-SRD inclui a expressão de ajuste do $b(h_b)$, o qual no modelo de Hata padrão introduziria significativa perda de caminho adicional quando a altura da antena do transmissor é muito menor a 30m. Verificou-se que esta perda extra não se justifica nos cenários considerados de curto alcance com linha de visada direta.

O detalhamento das expressões de cálculo deste modelo, podem ser encontradas no anexo 2.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 24 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



3.6.4. Modelo ITU-R P.1546-4

É um modelo de propagação que fornece um método de cálculo de perda de propagação para sistemas ponto-área e para serviços de uso terrestre na faixa de frequências de 30 MHz a 3 GHz em trajetos de 1km até 1.000 km.

A metodologia de cálculo contempla a predição de campo elétrico com base em dados obtidos de medições realizadas para diferentes frequências (100 MHz, 600 MHz e 2000 MHz), distâncias (1 a 1000 km), alturas de estação transmissora (10,20, 37.5, 75, 150, 300, 600 e 1.200 m), variabilidade de localizações (1 a 99%) e variabilidade temporal (1 a 50%). O procedimento de cálculo compreende a interpolação e extrapolação das curvas medidas permitindo o ajuste para determinada frequência, distâncias, altura de interesse e percentagem de tempo.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 25 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

4. Cenários de Teste

Os cenários considerados para a simulação são apresentados na sequência de tabelas a seguir. Na tabela 9, é indicado o grupo de testes a respeito das estações eNodeB e transmissora de TV Digital, nesta mesma tabela podemos verificar nas duas últimas colunas a representação de testes para o caso co-site (quando há compartilhamento de local pelas duas estações) e na situação de instalações em locais diferentes. As simulações foram realizadas para algumas alturas de antena sempre buscando a situação de pior caso.

Tabela 9. Testes de estações eNodeB e TV Digital

Identificação de Teste	Teste	Canal	altura antena do LTE co-site	Alturas de antena em torres diferentes
A1	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49	h1	
A2	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49	h2	
A3	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49	h3	
A4	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50	h1	
A5	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50	h2	
A6	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50	h3	
A7	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51	h1	
A8	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51	h2	
A9	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51	h3	
B1	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49		h1
B2	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49		h2

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 26 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

B3	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	49		h3
B4	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50		h1
B5	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50		h2
B6	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	50		h3
B7	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51		h1
B8	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51		h2
B9	Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB). Dada a transmissora de TV Digital padrão	51		h3

A tabela 10 apresenta várias situações de teste entre um eNodeB e um receptor de TV Digital, para o caso de instalações outdoor ou para o caso de receptores portáteis.


Tabela 10. Testes de eNodeB e receptores de TV Digital

Identificação de Teste	Teste	canal	Antena TV	Distância
C1	Interferência da Estação de Radio Base LTE nos aparelhos receptores de TV	51	Externa	2 a 5 mts
C2	Interferência da Estação de Radio Base LTE nos aparelhos receptores de TV	51	Externa	30 a 70 mts

A tabela 11 de cenários de teste apresenta a interferência das transmissões entre o terminal LTE (UE) e os receptores de TV Digital.

Tabela 11. Testes entre terminal LTE e receptores de TV Digital

Identificação de Teste	Teste	canal	Tipo de Teste
D1	Interferência do terminal LTE nos receptores de TV ISDB-T	50	Próximo TV
D2	Interferência do terminal LTE nos receptores de TV ISDB-T	51	terminal dual

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas		
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell		
Página 27 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1	




A tabela 12 de cenários de teste apresenta a interferência das transmissões entre o transmissor de TV Digital e os receptor da unidade móvel LTE (UE).

Tabela 12. Testes entre transmissão de TV Digital e UE LTE

Identificação de Teste	Teste	canal
E1	Interferência do Transmissor de TV Digital e o UE LTE	51

As tabelas 9 a 12, serão da mesma forma adotadas nas etapas de realização de medições em laboratório e em campo, reproduzindo situações similares de forma a que sejam comparáveis com os resultados teóricos apresentados neste estudo.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 28 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1



5. Resultados de Simulação

Neste item são apresentados os resultados obtidos na simulação computacional para os seguintes casos:

- Testes A1 a A9: Interferência do SBTVD no eNodeB LTE, sistemas em co-site
- Testes B1 a B9: Interferência do SBTVD no eNodeB LTE, sistemas em torres diferentes
- Testes C1 e C2. Interferência da eNodeB LTE nos aparelhos receptores de TV
- Testes D1 e D2. Interferência do Terminal Móvel LTE nos aparelhos receptores de TV
- Teste E1. Interferência do SBTVD no UE LTE

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 29 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

5.1. Testes A1 até A9. Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB) - com transmissora de TV Digital padrão *co-site*

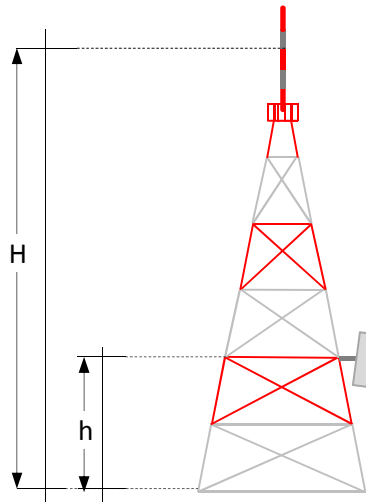


Figura 7. Cenário de Simulação A1 a A9

De forma a avaliar diferentes alturas de antena, consideramos as seguintes premissas:

H = altura da estação de TV com base em altura de referência (altura sob o nível médio do terreno) de 150 metros.

h = altura da estação rádio base entre 5 e 70 metros.

Classes de estação de TV Digital com base na definição da tabela IV do Anexo 3 das Res. 398 Anatel:

Tabela 13. Classificação das estações em função de suas características Máximas para a faixa de UHF.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 30 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Classe	Canais	Máxima Potência ERP	Altura de Referência Acima do Nível Médio da Radial (m)	Distância Máxima ao Contorno Protegido (km)
Especial	14 a 25	70 kW (18,5 dBk)	150	57
	26 a 46	80 kW (19 dBk)		
	47 a 59	100 kW (20 dBk)		
A	14 a 59	8 kW (9 dBk)		42
B	14 a 59	0,8 kW (-1 dBk)		29
C	14 a 59	0,08 kW (-11 dBk)	18	

Considerando o eNodeB com as suas características de recepção, tomando em consideração a máscara de transmissão Crítica da figura 2, podemos obter os seguintes resultados com base na expressão:

$$EIRP_{\max_OOB} = eNodeB_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}} + eNodeB_LTE_{I/N} - G_{eNodeB_LTE} + Pathloss$$

Onde,

$EIRP_{\max_OOB}$ é a potência máxima permitida do sistema interferente fora da sua banda;

$eNodeB_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}}$ é o nível de ruído do receptor tolerável.

$$eNodeB_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}} = KTBF = 1.38 \times 10^{-23} [JK^{-1}] 290[K] \times 20 \times 10^6 [s^{-1}] \times 10^{(5/20)} = -95.97 \text{ dBm}$$

$eNodeB_LTE_{I/N}$ é a proteção de interferência de -6 dB no caso do LTE com base na tabela 3;


G_{eNodeB_LTE} é o ganho da antena da eNodeB, 16.1 dBi com base na tabela 3;

Pathloss é a perda calculada para o caso de espaço livre.

De acordo com as configurações do eNodeB, e distâncias de separação entre antenas de 5 a 70 mts, a EIRP máxima do sistema interferente deveria ser os valores de $EIRP_{\max_OOB} [dBm/20MHz]$, para cada caso:

Tabela 14. Resultados de $EIRP_{\max_OOB} [dBm/20MHz]$ que o sistema interferente poderá gerar para não interferir o eNodeB LTE

Parâmetro	Valor	Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	713	a


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 31 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Altura da antena TV Digital H[m]	150					b
Altura da antena eNodeB h[m]	5	10	25	50	70	c
Distância entre Antenas [km]	0.145	0.14	0.125	0.1	0.08	d = b-c
Pathloss – Espaço Livre [dB]	72.69	72.38	71.40	69.46	67.52	e=32.4+20log(a)+20log(d)
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	-13					f
eNodeB I/N [dB]	-6					g
eNodeB LTE _{nível de ruído receptor}	-95.97 dBm (para B=20 MHz)					h
EIRP_{MAX OOB} [dBm/20MHz]	-16.28	-16.58	-17.57	-19.51	-21.44	h+g-f+e

A pior situação acontece quando as antenas estão mais próximas uma da outra, e com resultados conservadores dados pelo modelo de propagação de espaço livre. Quanto à estação transmissora de TV Digital interferente, a EIRP obtida para cada tipo de estação é **EIRP_OOB_TV_DIGITAL [dBm/20MHz]** para os canais 49, 50 e 51:

Tabela 15. Resultados de EIRP_{OOB_TV_DIGITAL}[dBm/20MHz]

	Classe Especial	A	B	C	Expressões de cálculo
ERP [kW]	100	8	0.8	0.08	a
ERP [dBm]	80	69.03	59.03	49.03	b=10log(a)
EIRP [dBm] = ERP [dBm]+2.15	82.15	71.18	61.18	51.18	c=b+2.15
Máscara Crítica -Canal 49 [dBc/10kHz]	-97				d
Máscara Crítica -Canal 50 [dBc/10kHz]					
Máscara Crítica -Canal 51 [dBc/10kHz]					
Máscara Crítica [dBc/20MHz] – Canal 49	-63.99				e=d+10log(2000)
Máscara Crítica [dBc/20MHz] – Canal 50					
Máscara Crítica [dBc/20MHz] – Canal 51					
Discriminação da Antena de TV na direção do eNodeB [dB]	-13				g
EIRP_OOB_TV_DIGITAL [dBm/6MHz] – Canal 49	5.16	-7.96	-15.81	-25.81	c + e + g
EIRP_OOB_TV_DIGITAL [dBm/6MHz] – Canal 50					
EIRP_OOB_TV_DIGITAL [dBm/6MHz] – Canal 51					

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 32 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1


Considerando os mesmos ganhos de antena, o cálculo de máxima interferência de -43 dBm, da tabela 7, podemos ver que para efeitos de bloqueio os sinais presentes de TV Digital classe C para alturas de eNodeB abaixo de 70 metros atendem o valor máximo especificado pelo 3GPP para estações Wide Area.

Tabela 16. Potência de canal adjacente recebida pelo eNodeB

		Classe de estação de TV Digital	Classe Especial	A	B	C
		EIRP [dBm]	82.15	69.0308 9987	61.1808 9987	51.1808 9987
Altura da antena eNodeB h[m]	Distância entre Antenas [km]	Pathloss - Free space Loss[dB]	Potência no receptor do eNodeB LTE			
5	0.145	72.69	-16.54	-29.66	-37.51	-47.51
10	0.14	72.38	-16.23	-29.35	-37.20	-47.20
25	0.125	71.40	-15.25	-28.37	-36.22	-46.22
50	0.1	69.46	-13.31	-26.43	-34.28	-44.28
70	0.08	67.52	-11.37	-24.49	-32.34	-42.34
		Nível Máximo Interferente [dBm]	-43.00 Wide Area -35 Local Area -27 Home -38 Medium Range			

Implementações no mesmo site causariam interferência prejudicial nos receptores do eNodeB. Os resultados são mais relevantes a respeito das transmissões da TV Digital do que das características do receptor do eNodeB. Podemos ver que para estações classe C é possível o compartilhamento de site.

Cabe indicar que estes resultados consideram o modelo de propagação de espaço livre o que produz resultados conservadores.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 33 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

5.2. Testes B1 até B9. Interferência do Sistema de Televisão Digital na ERB LTE (eNodeB) - com transmissora de TV Digital em torres diferentes.

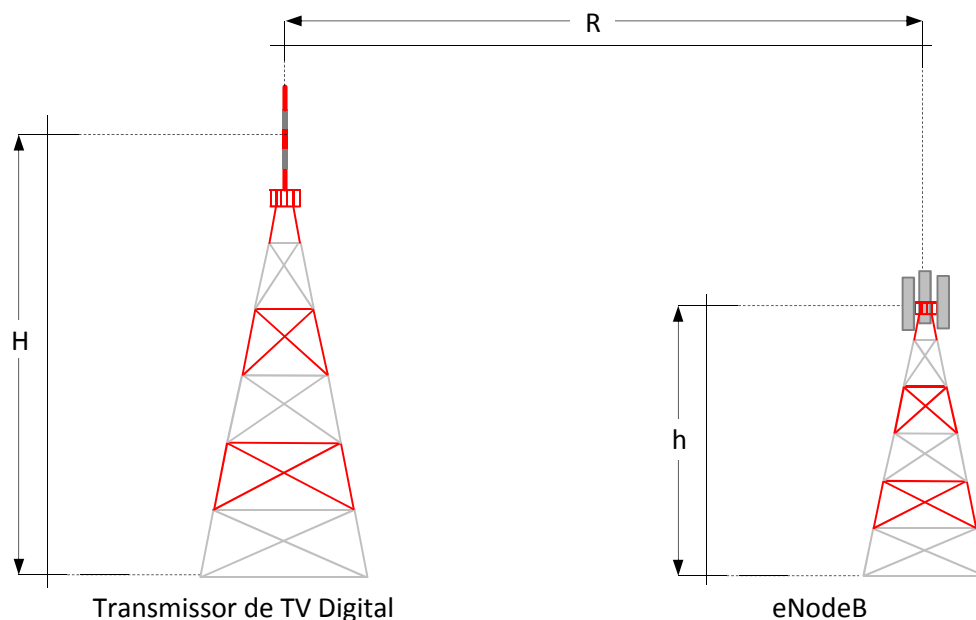


Figura 8. Cenário de Simulação B1 a B9

De forma a avaliar diferentes alturas de antena, consideramos as seguintes premissas:

H = altura da estação de TV com base em altura de referência (altura sob o nível médio do terreno), 150 mts.

h = altura da estação rádio base, 10 metros (para manter a validade do Modelo Okumura-Hata).

Da mesma forma que no item 4.1, a expressão de cálculo utilizada é:

$$EIRP_{\max_OOB} = eNodeB_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}} + eNodeB_LTE_{I/N} - G_{eNodeB_LTE} + Pathloss$$

Onde:

$EIRP_{\max_OOB}$ é a potência máxima permitida do sistema interferente fora da sua banda;

$eNodeB_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}}$ é o nível de ruído do receptor tolerável.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 34 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

$$eNodeB_LTE_{nível_de_ruído_receptor} = KTB = 1.38 \times 10^{-23} [JK^{-1}] 290[K] \times 20 \times 10^6 [s^{-1}] \times 10^{(5/20)} = -95.96 \text{ dBm}/20\text{MHz}$$

$eNodeB_LTE_{I/N}$ é a proteção de interferência de -6 dB no caso do LTE com base na tabela 3;

G_{eNodeB_LTE} é o ganho da antena da eNodeB, 16.1 dBi com base na tabela 3;

Pathloss é a perda calculada para o caso de espaço livre e modelo de Okumura-Hata para distâncias acima de 1km.

Os valores calculados de EIRP para Espaço Livre e Okumura Hata são dados por $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/20MHz] para cada modelo:

Tabela 17. Resultados de $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/20MHz] que o sistema interferente poderá ter para não interferir o eNodeB LTE.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	713					a
Altura da antena TV Digital H[m]	150					b
Altura da antena eNodeB h[m]	10					c
Distância entre Antenas [km]	0.1	0.5	1	10	20	d
Pathloss – Espaço Livre [dB]	69.46	83.44	89.46	109.46	115.48	e1=32.4+20log(a)+20log(d)
Pathloss – Okumura-Hata [dB]	-	-	93.38	124.03	133.25	e2=69.55+26.16log(a)-13.82log(b)-a(c)+(44.9-6.55log(b))log(d)
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	-5.0	0.0	5.0	5.0	5.0	f
eNodeB I/N [dB]	-6					g
$eNodeB_LTE_{nível_de_ruído_receptor}$	-95.96 dBm					h
EIRP_{MAX OOB} [dBm/20MHz] para Espaço Livre	-27.51	-18.53	-17.51	2.49	8.52	h+g-f+e1
EIRP_{MAX OOB} [dBm/20MHz] para Okumura - Hata	-	-	-13.59	17.06	26.29	h+g-f+e2

Quanto à estação transmissora interferente, para esta avaliação a EIRP obtida para cada canal e distância de separação é dada por **EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz]** em cada caso:


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 35 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Tabela 18. Resultados de EIRP_{OOB_TV_DIGITAL}[dBm/20MHz]


Para Canal 49 e 50	Classe Especial	A	B	C	Expressões de cálculo
ERP [kW]	100	8	0.8	0.08	a
ERP [dBm]	80	69.03	59.03	49.03	b=10log(a)
EIRP [dBm]	82.15	71.18	61.18	51.18	c=b+2.15
Máscara Crítica -Canal 49 a 51 [dBc/10kHz]	-97				d
Máscara Crítica -Canal 49 a 51 [dBc/20MHz]	-63.99				e=d-10log(2000)
Ganho da Antena de TV na direção do eNodeB [dBi] para 0.1 km	-10				f
Ganho da Antena de TV na direção do eNodeB [dBi] para 0.5 km	-5				
Ganho da Antena de TV na direção do eNodeB [dBi] para 1 km	0				
Ganho da Antena de TV na direção do eNodeB [dBi] para 10 km	5				
Ganho da Antena de TV na direção do eNodeB [dBi] para 20 km	12				
EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz] para 0.1 km	8.16	-4.96	-12.81	-22.81	c - e + f
EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz] para 0.5 km	13.16	0.04	-7.81	-17.81	
EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz] para 1 km	18.16	5.04	-2.81	-12.81	
EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz] para 10 km	23.16	10.04	2.19	-7.81	
EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz] para 20 km	30.16	17.04	9.19	-0.81	

Para a estação de TV Digital, classe especial, a distância na qual os efeitos de interferência diminuem é para 27 km calculados com o modelo de Okumura-Hata.

Para a estação do tipo A, a distância de separação necessária é de 4.1 km (Com base no modelo de Okumura Hata). Para a estação do tipo B o cálculo apresenta o valor de 2.3 km e para a Classe C não há problema de convivência acima de 1.1 km.

No caso de avaliação da sensibilidade do receptor, pode ser verificado os resultados de nível de sinal recebido na seguinte tabela:


Tabela 19. Potência recebida de canal adjacente no eNodeB.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 36 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

		Classe de estação de TV Digital	Classe Especial	A	B	C
		EIRP [dBm]	82.15	69.03	61.18	51.18
Distância entre Antenas [km]	Pathloss - Free space Loss[dB]	Potência no receptor do eNodeB LTE				
0.1	69.46	-2.31	-15.43	-23.28	-33.28	
0.5	83.44	-6.29	-19.41	-27.26	-37.26	
1	89.46	-2.31	-15.43	-23.28	-33.28	
10	109.46	-17.31	-30.43	-38.28	-48.28	
20	115.48	-16.33	-29.45	-37.30	-47.30	
Distância entre Antenas [km]	Pathloss - Okumura-Hata[dB]					
1	93.38	-6.23	-19.35	-27.20	-37.20	
10	124.03	-31.88	-45.00	-52.85	-62.85	
20	133.25	-34.10	-47.22	-55.07	-65.07	
Nível Máximo Interferente [dBm]		-43.00 Wide Area -35 Local Area -27 Home -38 Medium Range				

Cabe indicar que estes resultados consideram o modelo de propagação de espaço livre o que produz resultados conservadores.

5.3. Testes C1 e C2. Interferência da Estação de Radio Base LTE nos aparelhos receptores de TV

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 37 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

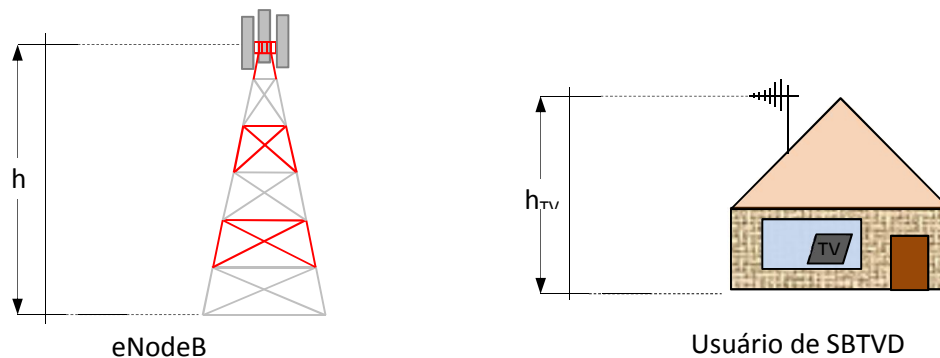


Figura 9. Cenário de Simulação C1 a C2 – Antena Externa

No cálculo do critério de proteção de para o sistema de TV, foi utilizado o critério adotado na Recomendação ITU-R BT.1895 onde o critério de proteção deverá ser de 10% do ruído total do sistema de TV. Com este critério o valor de I/N é de -10 dB.

De forma a avaliar diferentes cenários, consideramos as seguintes premissas:

h = altura da estação rádio base, 30 metros.

h_{tv} = altura da antena do receptor de Tv Digital, de 10 metros.

Distâncias de separação entre 2m e 15 km.

A expressão de cálculo utilizada é:

$$EIRP_{\max_OOB} = SBTVD_{\text{nível_de_ruído_receptor}} + SBTVD_{I/N} - G_{\text{Antena}} + Pathloss$$

Onde:


$EIRP_{\max_OOB}$ é a potência máxima permitida do sistema interferente fora da sua banda;

$SBTVD_{\text{nível_de_ruído_receptor}}$ é o nível de ruído do receptor tolerável.

$$SBTVD_{\text{nível_de_ruído_receptor}} = KTB = 1.38 \times 10^{-23} [JK^{-1}] 290[K] \times 6 \times 10^6 [s^{-1}] \times 10^{(10/20)} = -96.19 \text{ dBm/6MHz}$$

$SBTVD_{I/N}$ é a proteção de interferência de -10 dB;

G_{Antena} é o ganho da antena de antena externa para SBTVD, 16.1 dBi;

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 38 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Pathloss é a perda calculada para o caso de espaço livre e modelo de Okumura-Hata para distâncias acima de 1km.

Os valores calculados de EIRP são dados por $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] para Espaço Livre e Okumura-Hata:

Tabela 20. Resultados de $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] que o sistema interferente poderá ter para não interferir o receptor de TV Digital.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	695					a
Altura da antena TV Digital h_{tv} [m]	30					b
Altura da antena eNodeB h[m]	10					c
Distância entre Antenas [km]	0.02	0.5	1	10	15	d
Pathloss – Espaço Livre [dB]	55.26	83.22	89.24	109.24	112.76	$e1=32.4+20\log(a)+20\log(d)$
Pathloss – Okumura-Hata [dB]	-	-	102.85	138.08	144.28	$e2=69.55+26.16\log(a)-13.82\log(b)-a(c)+(44.9-6.55\log(b))\log(d)$
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	16.0					f
SBTVD I/N [dB]	-10					g
SBTVD _{nível de ruído receptor}	-96.19 dBm/6MHz					h
$EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] para Espaço Livre	-66.94	-38.98	-32.96	-12.96	-9.43	h+g-f+e1
$EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] para Okumura - Hata	-	-	-19.34	15.88	22.09	h+g-f+e2

O Cálculo da EIRP fora da banda da transmissão do eNodeB é:


$$EIRP_{OOB} = \text{Máscara}_{eNodeB} [\text{dBm}/1\text{MHz}] + \text{Correção}[1\text{MHz} \rightarrow 6\text{MHz}] + G_{eNodeB}$$

$$EIRP_{OOB} = -26 + 10 \cdot \log(6) + 16.1$$

$$EIRP_{OOB} = -2.11 \text{ dBm}/6\text{MHz}$$

A interferência é minimizada no receptor de TV Digital quando a distância é superior a 3 km com base no modelo de Okumura-Hata, ou pelo uso de técnicas de filtragem no transmissor LTE.

A respeito da seletividade do receptor, o valor de -29 dB. Com o valor de sensibilidade -77 dBm o valor do interferente adjacente máximo seria de -77-(-29)

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 39 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

= -48 dBm, o que será considerado como o valor máximo para bloqueio de canal adjacente superior, sendo que este valor é para um canal imediatamente superior à frequência de análise.

No caso de uso do canal LTE da estação base afastado em mais de 20 MHz, a Eirp calculada é de 62.15 dBm, utilizando os cálculos de perda de propagação da tabela anterior.


Tabela 21. Potência recebida de canal adjacente no receptor de TV Digital.

Distância entre Antenas [km]	0.02	0.5	1	10	15
Pathloss - Espaço Livre [dB]	55.26	83.22	89.24	109.24	112.76
Pathloss - Okumura Hata [dB]			102.85	138.08	144.28
Potência no receptor de Tv Digital (para espaço livre) [dBm]	15.84	-12.07	-18.09	-38.09	-41.61
Potência no receptor de Tv Digital (para Okumura-Hata) [dBm]	-	-	-52.33	-87.55	-93.75

Os valores calculados estão abaixo de -48 dBm para o modelo de Okumura-Hata.

A simulação Monte Carlo para este mesmo cenário foi configurado com as seguintes premissas:

- Sistema Vítima:
 - Transmissão de TV Classe Especial;
 - Receptor de TV com antena diretiva de ganho 16.1 dBi apontada sempre para o transmissor;
 - Modelo de Propagação ITU-R P. 1546-4 (50% tempo);
 - Cálculo de cobertura em 42 km.
 - Sensibilidade do receptor de TV em -77.4 dBm (*Full Segment*)
- Sistema Interferente:
 - Estação base LTE com 43 dBm de potência de transmissão e 18 dBi de ganho de antena;
 - Um único setor com cobertura de 10 km;
 - Modelo de propagação entre eNodeB e UE, Okumura-Hata Extended;
 - Azimute do caminho da interferência com probabilidade uniforme entre 0 e 360 graus;
 - Cálculo de cobertura em 10 km;

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 40 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

- distância fixa entre interferente e vítima (variável apresentada na tabela).
- Simulação:
 - 100.000 eventos

Com estas configurações, são apresentados os seguintes resultados:

Tabela 22. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.


Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de I/N > -10 dB)
0.02	58,65
0.5	7.45
0.8	3.93
1	2.96
10	0.02

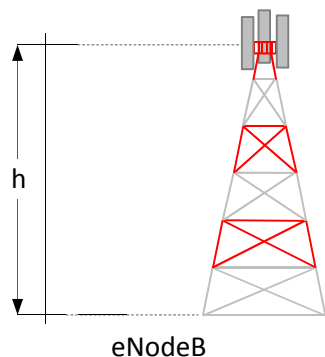
Por outra parte, adotando como critério de proteção a relação sinal a ruído de 19 dB, para o caso da modulação 64 QAM FEC $\frac{3}{4}$, os resultados apresentam menor interferência para as mesmas distâncias da tabela anterior:

Tabela 23. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção de C/I.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de C/I < 19 dB)
0.02	22,81
0.5	1.49
0.8	0.63
1	0.48
10	0.02

Na opção de interferência com receptores de TV portáteis, cenário mostrado na figura 8, a EIRP calculada é dada pelos valores de **EIRP_{MAX_OOB} [dBm/6MHz]** para Espaço Livre e Okumura-Hata:

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 41 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



Usuário de SBTVD (Portátil)

Figura 12. Cenário de Simulação C1 a C2 – Receptor Portátil

Tabela 24. Resultados de $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] que o sistema interferente poderá ter para não interferir o receptor portátil de TV Digital.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	695					a
Altura da antena TV Digital h_{TV} [m]	1.5					b
Altura da antena eNodeB h [m]	30					c
Distância entre Antenas [km]	0.02	0.5	1	10	15	d
<i>Pathloss</i> – Espaço Livre [dB]	55.26	83.22	89.24	109.24	112.76	e1=32.4+20log(a)+20log(d)
<i>Pathloss</i> – Okumura-Hata [dB]	-	-	123.48	158.70	164.90	e2=69.55+26.16log(a)-13.82log(b)-a(c)+(44.9-6.55log(b))log(d)
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	0.0					f
SBTVD I/N [dB]	-10					g
SBTVD _{nível de ruído receptor}	-96.19 dBm/6MHz					h
EIRP_{MAX OOB} [dBm/6MHz] para Espaço Livre	-76.94	-48.98	-42.96	-22.96	-19.43	h+g-f+e1
EIRP_{MAX OOB} [dBm/6MHz] para Okumura - Hata	-	-	1.28	36.51	42.71	h+g-f+e2

Para este segundo caso, numa distância inferior a 1 km não haverá problemas de interferência num receptor portátil, considerando o modelo de Okumura-Hata.

A simulação Monte Carlo para este mesmo cenário foi configurado com as seguintes premissas:

- Sistema Vítima:

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 42 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

- Transmissão de TV Classe Especial;
- Receptor de TV com antena diretiva de ganho 0 dBi;
- Modelo de Propagação ITU-R P. 1546-4 (50% tempo);
- Cálculo de cobertura em 42 km;
- Sensibilidade do receptor de TV em -106 dBm (*One Segment*)
- Sistema Interferente:
 - Estação base LTE com 43 dBm de potência de transmissão e 18 dBi de ganho de antena;
 - Um único setor com cobertura de 10 km;
 - Modelo de propagação entre eNodeB e UE, Okumura-Hata Extended;
 - Azimute do caminho da interferência com probabilidade uniforme entre 0 e 360 graus;
 - Cálculo de cobertura em 10 km;
 - distância fixa entre interferente e vítima (variável apresentada na tabela).
- Simulação:
 - 100.000 eventos

Com estas configurações, são apresentados os seguintes resultados:


Tabela 25. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de I/N > -10 dB)
0.02	63.79
0.5	2.69
0.8	0.74
1	0.40
10	0.00

Por outra parte, adotando como critério de proteção a relação sinal a ruído de 19 dB, para o caso da modulação 64 QAM FEC 3/4, os resultados apresentam menor interferência para as mesmas distâncias da tabela anterior:


Tabela 26. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de C/I > 19 dB)
0.02	60.76
0.5	6.39

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 43 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



0.8	2.98
1	2.17
10	0.01

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 44 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

5.4. Testes D1 e D2. Interferência do Terminal de usuário LTE nos aparelhos receptores de TV

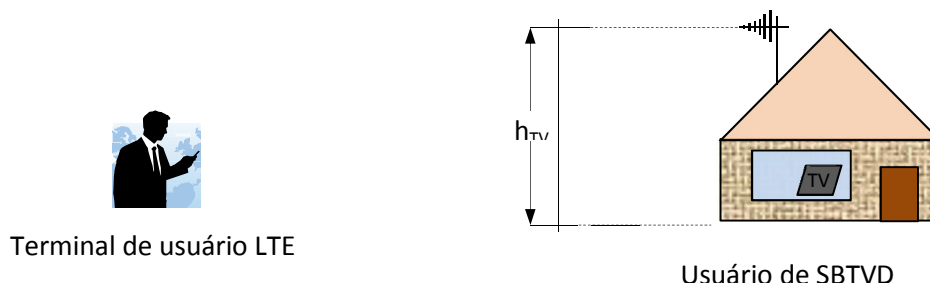


Figura 13. Cenário de Simulação D1 a D2 – Antena Externa

Com base nos cálculos do item anterior:

$$SBTVD_{\text{nível_de_ruído_receptor}} = KTB = 1.38 \times 10^{-23} \text{ [JK}^{-1}] 290 \text{ [K]} \times 6 \times 10^6 \text{ [s}^{-1}] \times 10^{(10/10)}$$

$$= -96.19 \text{ dBm/6MHz}$$

$SBTVD_{I/N}$ é a proteção de interferência de -10 dB;

G_{Antena} é o ganho da antena de antena externa para SBTVD, 16 dBi;

Pathloss é a perda calculada para o caso de Okumura-Hata SRD para distâncias abaixo de 1 km.

Tabela 27. Resultados de $EIRP_{\text{MAX_OOB}}$ [dBm/6MHz] que o sistema interferente (UE LTE) poderá ter para não interferir o receptor de TV Digital.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	695					a
Altura da antena usuário LTE h_{TV} [m]	1.5					b
Altura da antena TV Digital h[m]	10					c
Distância entre Antenas [km]	0.02	0.04	0.085	0.1	1	d
Pathloss – Okumura-Hata SRD [dB]	55.98	61.47	91.57	98.06	133.29	e
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	16.0					f
SBTVD I/N [dB]	-10					g
$SBTVD_{\text{nível_de_ruído_receptor}}$	-96.19 dBm/6MHz					h

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
	Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 45 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

EIRP_{MAX OOB} [dBm/6MHz] para Okumura – Hata SRD	-50.21	-44.72	-14.62	-8.13	27.09	h+g-f+e
--	---------------	---------------	---------------	--------------	--------------	----------------

O Cálculo da EIRP fora da banda da transmissão do terminal móvel LTE é:

$$EIRP_{OOB} = Máscara_{UE} [dBm/1MHz] + Correção[1MHz \rightarrow 6MHz] + G_{UE}$$

$$EIRP_{OOB} = -34 + 10 \cdot \log(6) + 0$$

$$EIRP_{OOB} = -26.21 \text{ dBm/6MHz}$$


Para este caso, numa distância superior a 71 metros não haverá problemas de interferência num receptor fixo, considerando o modelo de Okumura-Hata SRD.

A simulação Monte Carlo para este mesmo cenário foi configurado com as seguintes premissas:

- Sistema Vítima:
 - Transmissão de TV Classe Especial;
 - Receptor de TV com antena diretiva de ganho 0 dBi;
 - Modelo de Propagação ITU-R P. 1546-4 (50% tempo);
 - Cálculo de cobertura em 42 km;
 - Sensibilidade do receptor de TV em -106 dBm (*One Segment*)
- Sistema Interferente:
 - Estação Móvel LTE com 24 dBm de potência de transmissão e 0 dBi de ganho de antena;
 - Um único setor com cobertura de 10 km;
 - Modelo de propagação entre eNodeB e UE, Okumura-Hata Extended;
 - Azimute do caminho da interferência com probabilidade uniforme entre 0 e 360 graus;
 - Cálculo de cobertura em 10 km;
 - distância fixa entre interferente e vítima (variável apresentada na tabela).
- Simulação:
 - 100.000 eventos

Com estas configurações, são apresentados os seguintes resultados:

Tabela 28. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.

Distância de separação entre	Percentagem de eventos com interferência (Critério de	
	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 46 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

Vítima e interferente [km]	I/N>-10 dB)
0.02	12.88
0.05	12.83
0.1	9.42
0.25	1.08
0.5	0.01

Por outra parte, adotando como critério de proteção a relação sinal a ruído de 19 dB, para o caso da modulação QAM fec 3/4, os resultados apresentam menor interferência para as mesmas distâncias da tabela anterior:

Tabela 29. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção C/I.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de C/I>19 dB)
0.02	7.69
0.05	7.72
0.1	6.54
0.25	0.98
0.5	0.05

Na opção de interferência com receptores de TV portáteis, ou cenário mostrado na figura 14:



Terminal de usuário LTE



Usuário de SBTVD (Portátil)

Figura 14. Cenário de Simulação C1 a C2 – Receptor Portátil

Tabela 30. Resultados de $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] que o sistema interferente (UE LTE) poderá ter para não interferir o receptor portátil de TV Digital.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	695					a
Altura da antena TV Digital H[m]	1.5					b
Altura da antena UE LTE h[m]	1.5					c
Ditância entre Antenas [km]	0.02	0.04	0.085	0.1	1	d
Pathloss – Okumura-Hata SRD[dB]	55.26	61.28	105.09	114.54	149.77	e
Ganho da antena na direção da antena de TV Digital [dBi]	0.0					f

CETUC	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 47 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

SBTVD I/N [dB]	-10					g
SBTVD _{nível de ruído receptor}	-96.19 dBm/6MHz					h
EIRP_{MAX} OOB [dBm/6MHz] para Okumura – Hata SRD	-50.94	-44.91	-1.10	8.35	43.57	h+g-f+e

Para este segundo caso, numa distância superior a 55 metros não haverá problemas de interferência num receptor portátil, considerando o modelo de Okumura-Hata SRD.


A simulação Monte Carlo para este mesmo cenário foi configurado com as seguintes premissas:

- Sistema Vítima:
 - Transmissão de TV Classe Especial;
 - Receptor de TV com antena de ganho 0 dBi;
 - Modelo de Propagação ITU-R P. 1546-4 (50% tempo);
 - Cálculo de cobertura em 5 km;
 - Sensibilidade do receptor de TV em -106 dBm (*One Segment*)
- Sistema Interferente:
 - Estação Móvel LTE com 23 dBm de potência de transmissão e 0 dBi de ganho de antena;
 - Um único setor com cobertura de 10 km;
 - Modelo de propagação entre eNodeB e UE, Okumura-Hata Extended;
 - Azimute do caminho da interferência com probabilidade uniforme entre 0 e 360 graus;
 - distância fixa entre interferente e vítima (apresentada na tabela).
- Simulação:
 - 100.000 eventos

Com estas configurações, são apresentados os seguintes resultados:

Tabela 31. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de I/N > -10 dB)
0.02	5.13
0.03	0.04
0.05	0


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 48 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



Por outra parte, adotando como critério de proteção a relação sinal a ruído de 19 dB, para o caso da modulação 64QAM FEC $\frac{3}{4}$, os resultados apresentam **menor** interferência para as mesmas distâncias da tabela anterior:

Tabela 32. Resultados de Simulação Monte Carlo, cálculo de percentagem de eventos com interferência maior que o limiar de proteção I/N.

Distância de separação entre Vítima e interferente [km]	Percentagem de eventos com interferência (Critério de C/I>19 dB)
0.02	9.7%
0.03	3.83
0.05	0.09

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 49 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

5.5. Teste E1. Interferência do SBTVD no UE LTE

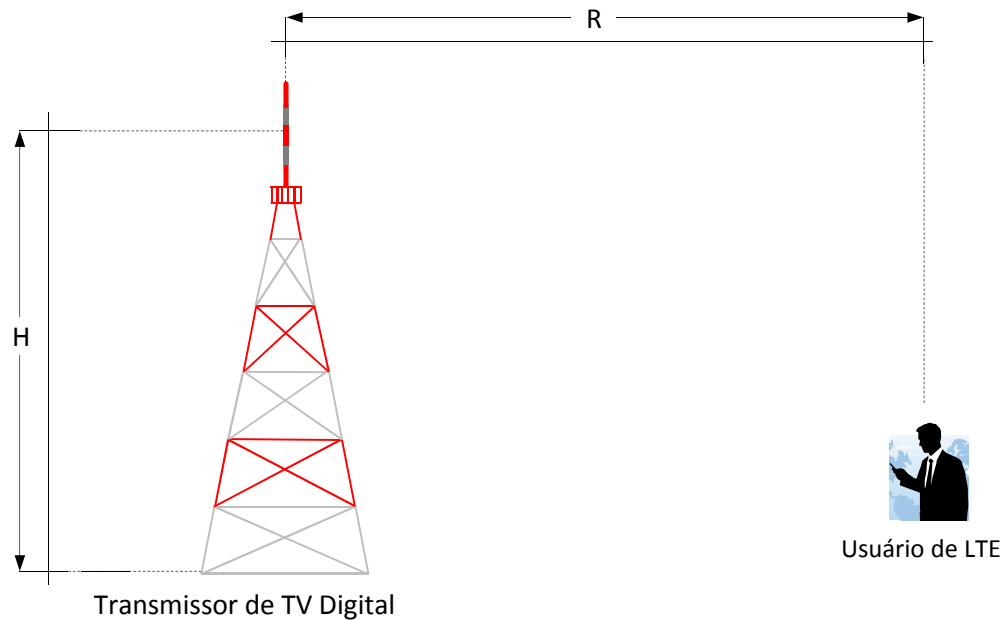


Figura 15. Cenário de Simulação B1 a B9

De forma a avaliar diferentes alturas de antena, consideramos as seguintes premissas:

H = altura da estação de TV com base em altura de referência (altura sob o nível médio do terreno), 150 metros.

h = altura da estação móvel LTE, 1.5 metros.

A expressão de cálculo utilizada é:

$$EIRP_{\text{max_OOB}} = UE_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}} + UE_LTE_{I/N} - G_{UE_LTE} + Pathloss$$

Onde:

$EIRP_{\text{max_OOB}}$ é a potência máxima permitida do sistema interferente fora da sua banda;

$UE_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}}$ é o nível de ruído do receptor da unidade móvel LTE.

$$UE_LTE_{\text{nível_de_ruído_receptor}} = KTBF = 1.38 \times 10^{-23} [JK^{-1}] 290[K] \times 20 \times 10^6 [s^{-1}] \times 10^{(9/20)} = -91.96 \text{ dBm}/20\text{MHz}$$

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 50 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

$UE_{LTE_{I/N}}$ é a proteção de interferência de -6 dB no caso do LTE com base na tabela 3;

$G_{UE_{LTE}}$ é o ganho da antena da unidade móvel, 0 dBi;

Pathloss é a perda calculada para o caso de espaço livre e modelo de Okumura-Hata para distâncias acima de 1km.

Os valores calculados de EIRP para Espaço Livre e Okumura Hata são dados por $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/6MHz] para cada modelo:


Tabela 25. Resultados de $EIRP_{MAX_OOB}$ [dBm/20MHz] que o sistema interferente poderá ter para não interferir o eNodeB LTE.

Parâmetro	Valor					Expressões de cálculo
Frequência de cálculo [MHz]	760.5					a
Altura da antena TV Digital H[m]	150					b
Altura da antena UE h[m]	1.5					c
Distância entre Antenas [km]	0.1	0.5	1	10	20	d
Pathloss – Espaço Livre [dB]	70.02	84.00	90.02	110.02	116.04	e1=32.4+20log(a)+20log(d)
Pathloss – Okumura-Hata [dB]	-	-	114.11	144.75	153.98	e2=69.55+26.16log(a)-13.82log(b)-a(c)+(44.9-6.55log(b))log(d)
Ganho da antena do UE LTE [dBi]	0.0					f
UE I/N [dB]	-6					g
eNodeB_LTE _{nível de ruído receptor}	-91.96 dBm/6MHz					h
EIRP_{MAX OOB} [dBm/6MHz] para Espaço Livre	-27.94	-13.97	-7.94	12.06	18.08	h+g-f+e1
EIRP_{MAX OOB} [dBm/6MHz] para Okumura - Hata	-	-	16.14	46.79	56.01	h+g-f+e2

Quanto à estação transmissora interferente, para esta avaliação a EIRP obtida para cada canal e distância de separação é dada por **EIRP_{OOB_TV_DIGITAL} [dBm/20MHz]** em cada caso:

Tabela 12. Resultados de $EIRP_{OOB_TV_DIGITAL}$ [dBm/20MHz]

Para Canal 49 a 51	Classe Especial	A	B	C	Expressões de cálculo
ERP [kW]	100	8	0.8	0.08	a
ERP [dBm]	80	69.03	59.03	49.03	b=10log(a)

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas		
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell		
Página 51 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1	


EIRP [dBm]	82.15	71.18	61.18	51.18	c=b+2.15
Máscara Crítica -Canal 49 e 50 [dBc/10kHz]	97				d
Máscara Crítica -Canal 49 e 50 [dBc/6MHz]	63.22				e=d-10log(600)
Ganho da Antena de TV na direção do UE [dBi] para 0.1 km	-10				f
Ganho da Antena de TV na direção do UE [dBi] para 0.5 km	-5				
Ganho da Antena de TV na direção do UE [dBi] para 1 km	0				
Ganho da Antena de TV na direção do UE [dBi] para 10 km	5				
Ganho da Antena de TV na direção do UE [dBi] para 20 km	12				
EIRP_{OOB TV DIGITAL} [dBm/6MHz] para 0.1 km	8.16	-4.96	-12.81	-22.81	c - e + f
EIRP_{OOB TV DIGITAL} [dBm/6MHz] para 0.5 km	13.16	0.04	-7.81	-17.81	
EIRP_{OOB TV DIGITAL} [dBm/6MHz] para 1 km	18.16	5.04	-2.81	-12.81	
EIRP_{OOB TV DIGITAL} [dBm/6MHz] para 10 km	23.16	10.04	2.19	-7.81	
EIRP_{OOB TV DIGITAL} [dBm/6MHz] para 20 km	30.16	17.04	9.19	-0.81	

Para estação de TV classe especial, o modelo de Okumura-Hata apresenta uma distância de 1.2 km de separação para limitar a interferência. Para a estação classes A, B e C, segundo o modelo de Okumura-Hata não existe problemas de interferência acima de 1 km.

6. Análise de resultados e considerações

Com base na metodologia apresentada neste estudo, podemos obter a seguinte análise para os diferentes cenários de teste:

- A. Para o cenário de interferência entre estações (TV Digital e eNodeB) co-site:
- No caso co-site, foi verificado que o sistema de TV Digital não interfere no receptor do eNodeB.
 - A pior situação foi encontrada no caso da estação de TV Digital Classe especial com potência de transmissão de 100 kW, que embora com a potência máxima de transmissão, não interfere no eNodeB.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 52 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

B. Para o cenário de interferência entre estações (TV Digital e eNodeB) em torres diferentes:

- Da mesma forma que verificado no cenário co-site, não há interferência significativa das transmissões de TV Digital no receptor do eNodeB. O teste considerou distâncias de separação de 100 metros a 20 km.
- O resultado da baixa interferência é produto da máscara de transmissão de TV, assim como da discriminação das antenas transmissora (do sistema interferente) como receptora (do sistema interferido).

C. Para o cenário de interferência entre eNodeB e receptores de TV Digital:

- O critério de proteção de sistemas de TV Digital é de I/N de -20 dB e C/I de 19 dB.
- Em situação de linha de visada direta, com as duas alturas de antena a 30 metros, poderá existir interferência prejudicial nos receptores de TV Digital a distâncias inferiores a 800 metros.
- O modelo de Okumura-Hata apresenta resultados mais conservadores, dados pela urbanização considerada. Não foram obtidos valores abaixo de 1 km por validade do modelo.
- Na simulação Monte Carlo foram utilizados os modelos de Okumura-Hata para o sistema LTE e a recomendação ITU-R P.1546-4 para o sistema de TV Digital.
- Usando o critério de proteção de I/N de -20 dB, foi verificado que a distância na qual não haverá interferência prejudicial acima de 3% dos casos é superior a 1 km.
- No caso do critério de C/I de 19 dB para uma situação específica de codificação é de 500 metros. Esta diferença pode ser atribuída ao mecanismo de proteção que a TV Digital teria com um FEC $\frac{3}{4}$.
- No caso de receptores portáteis a interferência será minimizada com um espaçamento de 250 metros entre o eNodeB e o receptor de TV Digital.
- Para receptores portáteis a distância máxima com percentagem de interferência abaixo de 1%, para o critério de proteção I/N de -20 dB, será de aproximadamente 700 metros.
- Para este mesmo cenário, no caso do critério de proteção ser C/I de 19 dB, para distâncias acima de 1 km existirá a interferência não será significativa.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 53 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1



D. Para o cenário de interferência entre terminal de usuário LTE e receptores de TV Digital:


- Para um receptor fixo de TV Digital, com base no modelo de Okumura-Hata, a distância mínima de separação será de 49 metros.
- Na simulação Monte Carlo, a distância para eventos com I/N acima de -20 dB em 1% dos casos é de 250 metros, similar ao resultado de C/I.
- Para o caso de receptores portáteis a distância encontrada é de 15 metros com uso do modelo de Okumura-Hata SRD.
- Nas simulações Monte Carlo os resultados para 1% de casos com valores de interferência acima do limiar é de 25 metros para I/N e 35 metros para o critério de C/I.

Os resultados teóricos apresentados neste estudo serão confrontados com dados de medições realizados em campo e laboratório como seguinte fase do projeto.

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 54 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1

7. Referências

- [1]. Rec ITU-R M.1036-4 "Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications (IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations (RR)", março de 2012.
- [2]. Rec ITU-R SM.2028 "Monte Carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems"., 2001-2002
- [3]. Norma Brasileira ABNT: NBR 15601, Televisão Digital Terrestre – Sistema de Transmissão, desde página 12, 07 de abril de 2008.
- [4]. Norma Brasileira ABNT NBR 15604, Televisão Digital Terrestre – Receptores, página 76, 07 de abril de 2008.
- [5]. Masayuki Takada, Masafumi Sato, "Transmission System for ISDB-T", IEEE Janeiro de 2006.
- [6]. Resolução nº 398, de 7 de abril de 2005, Anexo 3, Anexo Vii – Critérios Técnicos Para Estudos Envolvendo Canais Digitais, Canalização Para Tv Digital, Tabela 2, Tabela Iv Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações)
<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/20-2005/288-resolucao-398>
- [7]. 3GPP TR 36.820 V11.2.0 (2012-12), 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, LTE for 700 MHz digital dividend, (Release 11).

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell
Página 55 de 57	Nome arquivo: Relatório 1 Versão 1

ANEXO 1 – Critério de Proteção para sistema LTE

O critério de proteção adotado para sistemas LTE é de I/N que pode ser obtido pela relação de *desensitisation* do receptor na presença de um sinal interferente.

Segundo o 3GPP[7], para uma BS LTE, a mais realística suposição de *desensitisation* é de 1 dB.

O valor de I/N é obtido pela seguinte expressão:

$$\frac{I}{N} = 10 * \log_{10} \left(10^{\frac{\text{desensitisation}}{10}} - 1 \right) \approx -5.87 \text{ dB}$$


Esta expressão é equivalente a dizer que a *desensitisation* é (N+I)/N ou 1+I/N. Este valor de interferência afeta a relação C/I no receptor.

$$\left[\frac{N+I}{I} \right]_{dB} = \left[\frac{N+I}{N} \right]_{dB} - \left[\frac{I}{N} \right]_{dB}$$

$$\left[\frac{C}{N+I} \right]_{dB} = \left[\frac{C}{I} \right]_{dB} - \left[\frac{N+I}{I} \right]_{dB}$$

Para o Valor de (N+I)/N de 1 dB, I/N=-6 dB, o valor de C/I, que por exemplo para sistemas digitais com modulação 64 QAM é de 26 dB, por efeito de interferência poderá chegar em C/(N+I) = 26 - 7 = 19 dB.

A relação C/(N+I) poderá tender para C/I quando I/N for alto (10, 20 dB) ou forte interferência. No caso de C/(N+I) tendendo a C/N, pode se verificar que o ruído é dominante a respeito da interferência, por exemplo para relação I/N menor a -20 dB.


	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 56 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1



ANEXO 2



Hata-and-Hata-SRD-i
mplementation_v2

	Assunto: Projeto de Testes de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital e o LTE na faixa de 700MHz (Banda 28 3GPP). Relatório 1: Realização de análise teórica para avaliar as características da interferência entre sistemas	
Data: 20/01/2014	Elaborado por: Carlos Rodriguez, Leonardo Silva e Marta Pudwell	
Página 57 de 57	Nome arquivo: Relatório 1	Versão 1