

Análise da coexistência do LTE com ISDB-T_B em 700 MHz

Danielle M. Okamoto, Luiz A. R. da Silva Mello e Marta P. C. de Almeida

Resumo—Este artigo apresenta os resultados de medições em campo e simulações computacionais de interferência do sistema LTE na TV Digital na faixa de 700 MHz. Os resultados da campanha de medições foram usados para validar o uso do software SEAMCAT na simulação deste problema de interferência. A ferramenta foi, então, utilizada para caracterizar os cenários de medição destinados à avaliação da coexistência destes serviços.

Palavras-Chave—Medições de interferência, simulação de interferência, LTE, ISDB-T_B, TV Digital.

Abstract—This paper presents the results of field measurements and computer simulation of the interference from LTE system in the Digital TV in the 700 MHz band. The measurements campaign results were used to validate the use of SEAMCAT software to simulate this interference problem. The software tool was then used for the characterization of the measurement scenarios aiming the evaluation of the coexistence of these services.

Keywords—Interference measurements, interference simulation, LTE, ISDB-T_B, Digital TV.

I. INTRODUÇÃO

O dividendo digital é a porção do espectro na faixa de 700 MHz que não será mais usada pela radiodifusão após a transição da TV analógica para a TV Digital (DTV). No Brasil, a transição ocorrerá entre 2016 e 2018. A Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) leilou a faixa 698-806 MHz para o uso da tecnologia de banda larga móvel de quarta geração (4G-LTE) em Setembro de 2014.

Devido ao grande número de equipamentos móveis e a possibilidade de operação em local próximo aos receptores DTV, a interferência agregada vai exigir o uso de técnicas de mitigação de interferência de canal adjacente entre LTE e DTV para garantir o desempenho adequado de ambos os sistemas.

O presente artigo avalia a interferência de sistema LTE (padrão E-UTRA) no Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), que utiliza o padrão ISDB-T_B. A avaliação foi realizada através de uma campanha de medições de campo e simulações de Monte Carlo utilizando o software SEAMCAT [1]. Os cenários de interferência foram implementados para simular as mesmas condições da campanha de medições, incluindo as configurações dos equipamentos e a distância entre os sistemas de transmissão e recepção de ambos os sistemas. O objetivo foi validar os resultados simulados pela comparação com os dados medidos. A partir da validação do software, cenários de interferência mais complexos com múltiplos receptores LTE e DTV foram simulados.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II descreve a campanha de medições, a Seção III descreve a ferramenta SEAMCAT e compara seus resultados simulados com o cenário das medições para validar o programa como

ferramenta de simulação. A Seção IV descreve como as simulações com múltiplos receptores foram realizadas e apresenta os seus resultados, e a última seção apresenta as conclusões do trabalho.

II. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAMPO

Em Abril de 2014, uma campanha de medições para investigar a interferência do sistema LTE na DTV operando em bandas adjacentes foi realizada em ambiente rural localizado no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), em Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

A. Setup de Medições

Os componentes do setup de medições são apresentados na Figura 1, incluindo o sistema interferente (LTE) e o sistema vítima (DTV). O setup de DTV incluiu um gerador de sinais (R&S® SFU Broadcast Test System), um amplificador de RF com ganho de 42,5 dB (DB Elettronica Telecomunicazioni S.p.A) e uma antena painel com ganho de 14,5 dBi (DB Digital Broadcast). A antena foi montada no telhado de um prédio a 15 m de altura.

O setup de recepção incluiu uma antena log-periódica com ganho de 14 dBi, dois receptores de DTV (Telesystem para os canais 49 e 50 e Sony para o canal 51), um aparelho de TV LCD (Sony) e um analisador de espectro portátil (Rohde&Schwarz). No sistema interferente foram usados uma estação LTE (eNodeB) da Nokia Solutions and Networks, uma antena painel com ganho de 16,1 dBd (RFS) e um terminal móvel LTE (UE) do fabricante Qualcomm.

A Tabela I apresenta os parâmetros de transmissão do modulador ISDB-T_B:

TABELA I. CONFIGURAÇÃO DO SINAL DE TV DIGITAL- ISDB-T_B

Largura de banda [MHz]	5,572
Modulação	64-QAM
FEC	3/4
Modo da portadora	Modo 3 (8K)
Intervalo de guarda	1/8
Segmentos	12
Taxa de dados [MHz]	15,7

A Figura 2 apresenta as posições das antenas transmissora e receptora de sinal de DTV e o transmissor de sinal LTE (eNodeB).

B. Metodologia de Medição

A interferência do LTE, tanto do *downlink* (LTE-DL ou eNodeB) como do *uplink* (LTE-UL ou UE), sobre os receptores DTV foi avaliada pela análise subjetiva da imagem, considerando que o início da ocorrência de artefatos (pixelização ou congelamento) indica o Limiar de Visibilidade (TOV) do receptor DTV. De acordo com critérios estabelecidos na Recomendação ITU-R BT.2035 [2], o TOV é

Danielle M. Okamoto e Luiz A. R. da Silva Mello, Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, Marta P. C. de Almeida, Divisão de Metrologia em Tecnologias da Informação e Telecomunicações, Inmetro, Duque de Caxias-RJ, Brasil, E-mails: danimoto@cetuc.puc-rio.br, smello@cetuc.puc-rio.br, mpalmeida@inmetro.gov.br

alcançado quando o observador for capaz de detectar algum tipo de distorção ou defeito na imagem do aparelho de TV durante o período de observação de um minuto.

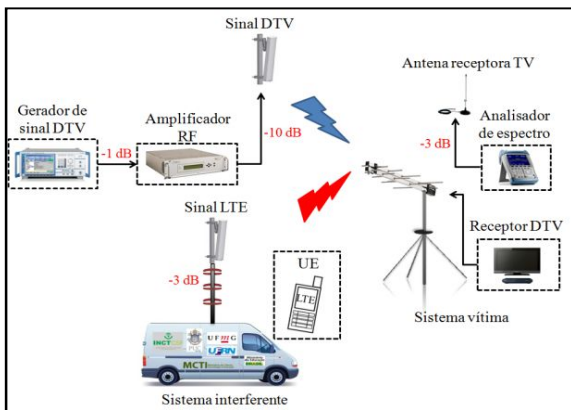


Fig. 1. Setup de transmissão e recepção dos sistemas vítima e interferente

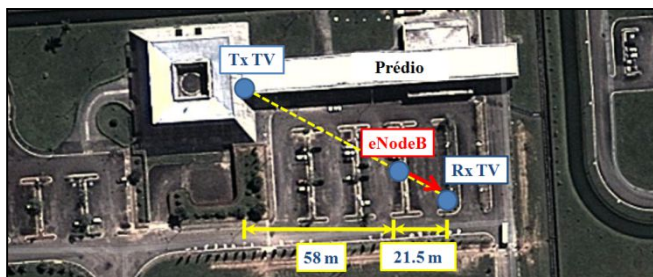


Fig. 2. Vista aérea do setup de medições de interferência

Para determinar o limiar de boa recepção, o nível de sinal do gerador de TV (sinal desejado) foi reduzido até que o TOV na imagem de DTV fosse alcançado e os seguintes parâmetros foram coletados:

- A potência recebida do sinal de DTV no analisador de espectro portátil localizado próximo ao receptor de TV;
- A qualidade do sinal de vídeo no modo full-seg (alta definição) através da observação visual da imagem por um minuto.

C. Resultados Obtidos

Os resultados de três testes são apresentados nesta seção: (1) sem sinal interferente, (2) com sinal interferente proveniente do eNodeB e (3) com sinais interferentes provenientes do eNodeB e LTE-UE.

Teste 1: sem sinal interferente

O objetivo deste teste foi a medição do nível recebido de sinal DTV sem a presença do sistema interferente (LTE) para estabelecer um valor de referência. O nível de sinal de TV no gerador (sinal desejado) foi reduzido até que fosse atingido o piso de ruído ou o TOV. O teste foi realizado com o receptor DTV sintonizado nos canais 49, 50 e 51, e os resultados são mostrados pelas linhas pontilhadas em vermelho na Figura 3 e na Figura 4. A interferência será averiguada nestes canais de TV, pois, são os correspondentes adjacentes inferiores às faixas de *uplink* da canalização banda 28 do 3GPP.

A EIRP do sinal de TV para os canais 49 e 50 (Figura 3) teve início em 16 dBm e foi reduzida até que o limiar de recepção fosse atingido. A imagem da TV apresentou bloqueio quando o sinal de entrada no receptor estava em -77,4 dBm, com EIRP de -5 dBm. Para o canal 51 (Figura 4), a EIRP teve início em 26 dBm e foi reduzida até -9 dBm, onde a

imagem apresentou defeito em -91,4 dBm. Assim, o receptor do canal 51 apresentou menor sensibilidade em relação ao receptor dos canais 49 e 50.

Teste 2: com sinal interferente proveniente do eNodeB

Para medir o nível de interferência do LTE-DL sobre o receptor de TV, o eNodeB foi ligado com potência de transmissão de 39 dBm. Como indicado na Figura 3, com este nível de potência de transmissão, o sinal interferente do eNodeB não gerou perturbações significativas na recepção dos canais 49 e 50, ou seja, o limiar de recepção para estes canais não foi modificado. Já a recepção do sinal no canal 51 com o eNodeB ativo mostrou um aumento de 12,5 dB no limiar de recepção em relação ao Teste 1, como indicado na Figura 4. Nesta situação, o receptor perdeu o sinal de TV em -78,9 dBm.

Teste 3: com sinal interferente do eNodeB e UE

Para a medição da interferência conjunta do LTE-UL (703-748 MHz) e LTE-DL (758-803 MHz) sobre o receptor DTV, o eNodeB foi ligado com potência de saída de 46 dBm e o UE operou com potência de 23 dBm. Este é o pior cenário de teste, pois estes equipamentos operaram em suas máximas potências e o UE estava localizado em frente à antena (log-periódica) receptora de DTV a 1 m de distância. As medições foram realizadas somente para o canal 51 e o resultado pode ser visto na Figura 4. Neste teste, apenas, o canal 51 foi avaliado, pois está mais próximo da faixa de *uplink* do LTE, com banda de guarda de 5 MHz. Assim, existe a necessidade de se avaliar a interferência potencial causada pelo LTE-UL neste canal. A operação simultânea do eNodeB e UE provocou um aumento no limiar de recepção de 19,2 dB em relação ao Teste 1, e 6,7 dB em relação ao Teste 2, pois o receptor do Teste 3 perdeu o sinal de TV em -72,2 dBm.

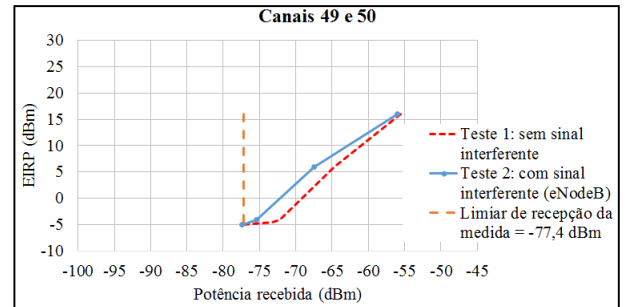


Fig. 3. Medidas de campo dos Testes 1 e 2 para os canais 49 e 50

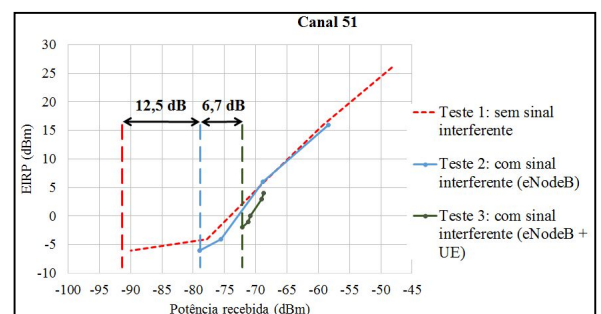


Fig. 4. Medidas de campo dos Testes 1, 2 e 3 para o canal 51

III. SIMULAÇÃO DE INTERFERÊNCIA

A. Breve Descrição do Software SEAMCAT

O SEAMCAT é uma ferramenta estatística que avalia a interferência potencial entre diferentes sistemas de radiocomunicações em bandas co-canal ou canais adjacentes

[1]. O usuário pode definir os parâmetros de propagação dos *links* vítima e interferente, e a distribuição dos parâmetros aleatórios, como posições do UE. O SEAMCAT [1] usa estas distribuições para gerar amostras aleatórias, denominadas de *snapshots* ou eventos, baseadas no método de Monte Carlo. Para cada *snapshot*, a ferramenta calcula os níveis de sinais interferente e desejado. Assim, é possível calcular a probabilidade de interferência entre os sistemas através da relação dos sinais desejado e interferente no receptor da vítima, considerando um grande número de eventos aleatórios [1].

Para se obter resultados estatisticamente significativos é necessário configurar o número de amostras/eventos que se deseja simular, por padrão do *software* foram usados 20.000 eventos. Este valor está relacionado com o tempo de execução do SEAMCAT [1].

A simulação considera quatro elementos básicos. O transmissor (Tx TV) e o receptor (Rx TV) do sistema vítima compõem o enlace vítima. O transmissor do eNodeB (LTE-DL) e o receptor do UE (LTE-UL) do sinal interferente compõem o enlace interferente. O receptor do sistema vítima recebe o sinal desejado (dRSS), enquanto que os elementos interferentes do LTE geram uma intensidade de sinal interferente (iRSS) sobre o sinal desejado, conforme indicado na Figura 5 [1]. Para cada evento, um cenário pode ser construído usando variáveis aleatórias, que incluem a posição do interferente em relação à vítima, a intensidade do sinal desejado e os canais que a vítima e o interferente estão usando [1]. Desta forma, a ferramenta é capaz de avaliar a probabilidade de interferência entre os sistemas de rádio. Neste trabalho, na etapa de simulação com múltiplos receptores, foi utilizada a distribuição de probabilidade uniforme para a posição dos receptores vítimas.

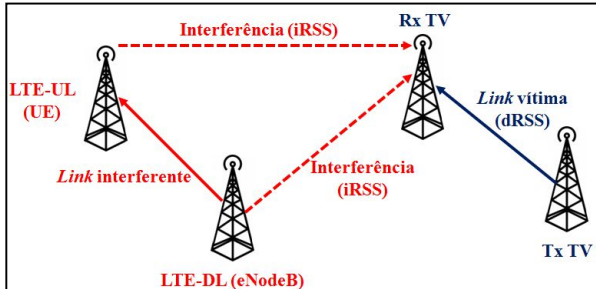


Fig. 5. Links dos sistemas interferente e vítima

B. Metodologia de Simulação

As simulações de Monte Carlo foram realizadas pelo *software* SEAMCAT [1] para avaliar a probabilidade de interferência entre os sistemas e seus resultados foram comparados com os resultados medidos. A fim de permitir a comparação dos valores medidos com os resultados simulados, foram utilizados no SEAMCAT, cenários com os mesmos parâmetros empregados na campanha de medições, incluindo os diagramas de radiação das antenas, as máscaras de emissão e recepção e as distâncias entre os sistemas de transmissão e de recepção.

Os parâmetros de entrada estão descritos na Tabela II. As especificações técnicas do transmissor e receptor de DTV foram baseadas no padrão ISDB-T_B e podem ser encontradas nos documentos ABNT 15601 [3] e 15604 [4], respectivamente. As especificações técnicas do sistema de transmissão e recepção do LTE foram baseadas nos padrões 3GPP TS 36.104 [5] e 36.101 [6], respectivamente.

O SEAMCAT [1] permite a entrada de máscaras de emissão dos sistemas e a avaliação dos limites de emissões indesejáveis, máscaras de bloqueio e intermodulação. A metodologia da Recomendação ITU-R SM.328-11 [7] e do relatório de especificações técnicas 3GPP TS 36.104 [5] foram usados para calcular as máscaras de emissão do eNodeB, mostradas na Figura 6a. A metodologia do relatório de especificações técnicas 3GPP TS 36.101 [6] foi usada para calcular as máscaras de emissão do UE, mostradas na Figura 6b.

TABELA II. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Link vítima - SBTVD	
Frequência [MHz]: Canais 49 - 51	683,142856 a 695,142856
Altura das antenas [m]	15 (Tx) e 1,5 (Rx)
Ganho das antenas [dBi]	12 (Tx) e 8 (Rx)
Piso de ruído [dBm]	-96,42
Sensibilidade de recepção [dBm]	-77,42
Largura de banda do receptor [kHz]	5700 (64-QAM)
Modelo de propagação	Espaço livre (ITU-R P.525)
Desvio padrão [dB]	5,5
Link do interferente - LTE	
Frequência [MHz]	760,5 (DL) e 705,5 (UL)
Largura de banda do sistema [MHz]	5
Potências [dBm]	39 e 46 (eNodeB) / 23 (UE)
Altura da estação base [m]	5 a 8
Altura do UE [m]	1,5
Ganho da antena do UE [dBi]	-3
Modelo de propagação	Espaço livre (ITU-R P.525)

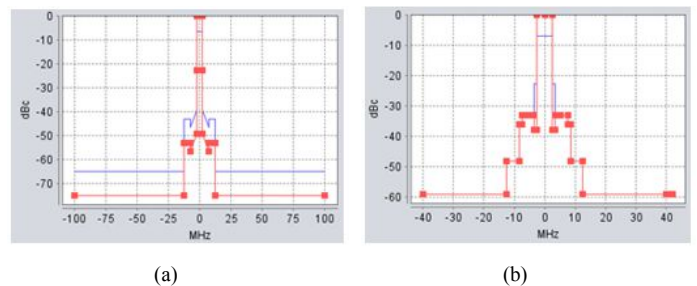


Fig. 6. Máscaras de emissão: eNodeB (a) e UE (b)

C. Critério de Interferência da Simulação

O cálculo da probabilidade de interferência considera o valor de C/I dos receptores de TV Digital. Neste trabalho foi utilizado o valor de 19 dB estabelecido na Norma Brasileira ABNT para receptores [4].

D. Resultados Obtidos

O objetivo da primeira simulação foi calcular o nível de sinal de DTV que chega ao receptor sem nenhum sistema interferente, considerando apenas a propagação por espaço livre e perdas nos cabos e conectores. Os resultados da simulação para os canais 49, 50 e 51 são apresentados na Figura 7 e comparados com os resultados do Teste 1.

Para os canais 49 e 50, os resultados da simulação foram semelhantes, sendo representados por uma única curva na Figura 7. Para o canal 51, a faixa dinâmica é maior do que os resultados simulados. Comparando a simulação com os resultados medidos pode-se notar boa concordância, exceto perto do limiar de recepção onde as curvas medidas se afastam dos resultados de simulação. Isto se deve à não-linearidade do receptor de DTV perto deste limiar devido ao controle automático de ganho, região onde o receptor se encontra no seu limite de sensibilidade.

A comparação entre os resultados simulados e medidos do Teste 2, com o sistema interferente LTE-DL operando, pode ser vista na Figura 8, para o canal 51. Há também uma boa concordância entre os resultados medidos e simulados.

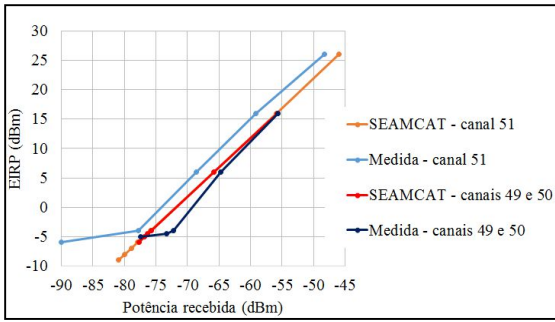


Fig. 7. Comparação entre simulação e medida do Teste 1 (canais 49 a 51)

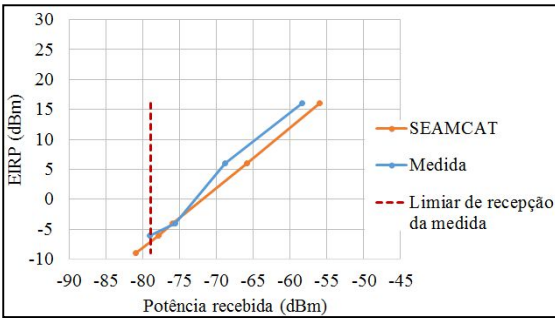


Fig. 8. Comparação entre simulação e medida do Teste 2 (canal 51)

No Teste 3, o LTE-DL e LTE-UL estão operando com potência de 46 dBm e 23 dBm, respectivamente. O UE (LTE-UL) foi posicionado em frente à antena receptora de DTV (Rx TV) a uma distância de 1 m. O objetivo deste teste é avaliar o comportamento do sinal interferente com máxima potência, em frente ao lóbulo do diagrama de radiação da antena log-periódica. A Figura 9 apresenta a comparação entre os resultados simulado e medido com a configuração do Teste 3. O resultado simulado está em concordância com a medida.

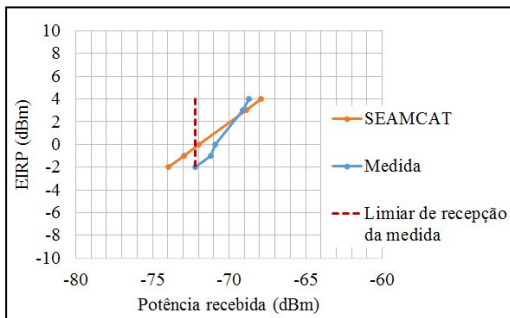


Fig. 9. Comparação entre simulação e medida do Teste 3 (canal 51)

E. Probabilidade de Interferência

Os resultados da Probabilidade de Interferência (IP) calculados pelo SEAMCAT para os Testes 2 e 3 são apresentados na Figura 10. Para o caso com apenas o eNodeB ligado, o limiar do receptor DTV foi de -78,9 dBm. O valor de IP aumentou com a redução do sinal desejado na vítima. Introduzindo o interferente UE, o sistema de recepção da TV apresentou maior sensibilidade à interferência e seu limiar foi de -72,2 dBm.

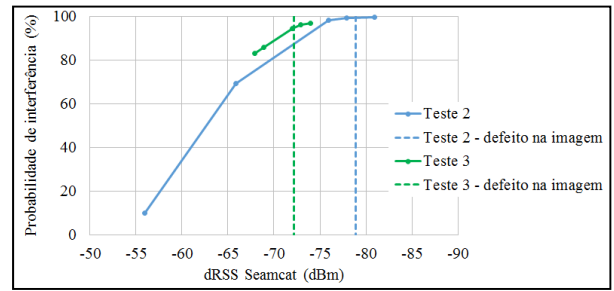


Fig. 10. Probabilidade de interferência dos Testes 2 e 3 (canal 51)

IV. SIMULAÇÃO COM MÚLTIPLOS RECEPTORES DE TV

Os resultados da Figura 7, Figura 8 e Figura 9 usados para validar o simulador, consideram apenas uma situação particular muito desfavorável, com o receptor de TV muito próximo ao LTE-DL e LTE-UL, configurando situação adversa entre as estações, como mostra a Figura 1. Esse pode ser considerado como “caso de referência” onde todos os parâmetros da medição foram reproduzidos.

Para avaliar estatisticamente situações reais de interferência foram realizadas outras simulações com cenários com múltiplos receptores DTV vítimas e UE's em posições aleatórias em todo o cenário. Dessa forma, a partir do cenário de referência, foram elaborados cenários mais complexos, onde os receptores vítimas são localizados em diversas posições em relação aos interferentes, estando sujeitos a diferentes níveis de interferência.

Na primeira simulação (S1) o cenário inclui um eNodeB (LTE-DL), com os mesmos parâmetros utilizados no Teste 2, e múltiplos receptores de TV (Rx TV). O cenário é ilustrado na Figura 11, com os receptores de TV posicionados aleatoriamente dentro da área de cobertura da TV com raio de 200 m. A distância entre o eNodeB e o transmissor de TV é a mesma utilizada nas medições de campo. A potência interferente sobre o receptor vítima DTV (iRSS) é a média das potências interferentes de todos os eventos da simulação, e o sinal desejado no receptor vítima (dRSS) é a média dos sinais desejados de todos os eventos.

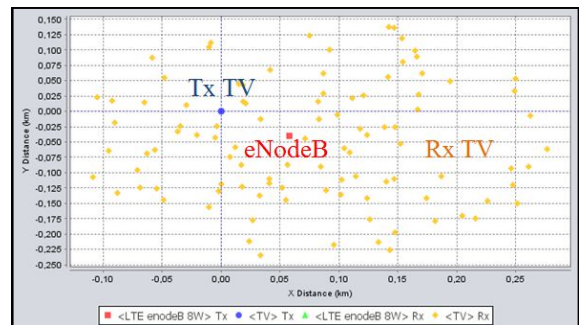


Fig. 11. Simulação de interferência do eNodeB sobre múltiplos Rx's TV

A Figura 12 mostra a variação da IP com o C/I obtido na simulação, onde C é o dRSS e I é o iRSS, para várias EIRP's da TV. Como o iRSS não varia, o aumento de C/I reflete o aumento da EIRP, que provoca a redução do IP, conforme esperado. A comparação na Figura 12 com o “caso de referência” com interferência somente da eNodeB mostra a redução do IP para múltiplos receptores, também conforme esperado, uma vez que a variabilidade da localização dos receptores vítimas no cenário contribui para a redução do sinal interferente médio, o que reduz a IP. Isto foi observado até o valor IP aproximadamente 19%. Abaixo deste valor, o

cruzamento das curvas demonstra que com o aumento da EIRP da TV, o valor do sinal desejado se torna dominante sobre a interferência, resultando na queda drástica do IP, conforme visto na curva da simulação com um único receptor de TV.

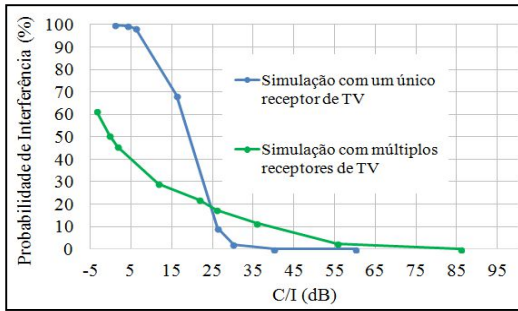


Fig. 12. IP do eNodeB sobre um único receptor e sobre múltiplos Rx's TV

Na segunda simulação (S2) o cenário inclui um eNodeB, múltiplos receptores DTV e UEs, conforme descrição do Teste 3. Cada UE está na distância fixa de 1 m do receptor DTV, configurando um par, em situação pessimista. O cenário é ilustrado na Figura 13, com os pares de receptores DTV e UE posicionados aleatoriamente na área de cobertura da TV dentro do raio de 200 m no entorno do transmissor. A distância entre o eNodeB e o transmissor de TV é a mesma das medições de campo.

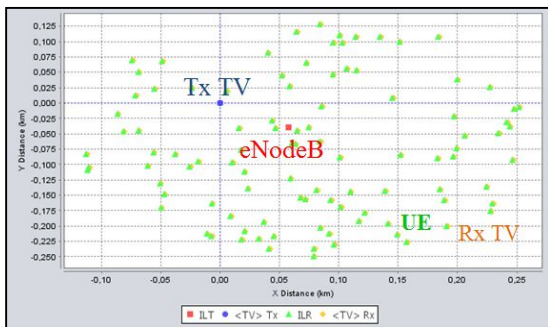


Fig. 13. Simulação de interferência do eNodeB e UE sobre múltiplos Rx's

A Figura 14 apresenta o resultado de IP versus C/I para esta simulação S2. Observa-se o aumento de IP em relação à S1 devido ao acréscimo da interferência da UE. Da mesma forma que em S1, com múltiplos receptores ocorre a redução de IP em relação ao “caso de referência” com interferência de eNodeB e UE. Em S2 isto foi observado até IP aproximadamente 21%. Abaixo deste valor, o cruzamento das curvas na Figura 14 também reflete o sinal desejado como dominante no valor de C/I, resultando na redução drástica do IP.

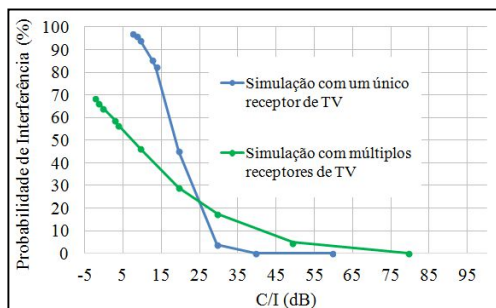


Fig. 14. IP do eNodeB e UE sobre um único receptor e sobre múltiplos Rx's TV

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo de interferência entre os sistemas de DTV e LTE, operando em canais adjacentes na banda de 700 MHz, para avaliar as condições para a coexistência destes serviços. O estudo envolveu uma campanha de medições de campo e simulações computacionais. As medições num cenário relativamente simples, viável de ser realizado na prática, foram usadas para validar os resultados das simulações.

Uma vez que os valores obtidos nas simulações foram bastante próximos dos obtidos em campo assumiu-se a ferramenta SEAMCAT como adequada para avaliar a convivência dos sistemas LTE e TV Digital em cenários mais complexos com múltiplos transmissores interferentes e receptores vítimas, difíceis de realizar em campo. Para uma potência de transmissão do eNodeB de 39 dBm, com distância de separação entre o eNodeB e o receptor DTV de 24 m, o LTE-DL não causou interferência prejudicial sobre os canais 49 e 50. No canal 51, houve um aumento de 12,5 dB no limiar de recepção observado quando não havia a presença do sistema interferente.

Interferência ainda mais intensa é causada pela presença de um LTE-UE próximo ao receptor DTV. Quando o LTE-DL e LTE-UL estão operando em suas máximas potências observou-se um aumento de 19,2 dB em relação ao valor de referência do limiar de recepção no canal 51.

As simulações com múltiplos receptores indicam que, com os receptores DTV posicionados aleatoriamente em relação ao eNodeB, a IP no receptor vítima é menor do que no caso pessimista considerado nos cenários de medições. No caso com múltiplos receptores sujeitos à interferência da UE além da interferência da eNodeB, a IP também diminuiu em relação ao caso pessimista. Estes comportamentos foram observados até o valor C/I aproximadamente 25 dB. Novos cenários a serem simulados considerarão o UE posicionado também aleatoriamente em relação ao receptor de DTV.

REFERÊNCIAS

- [1] European Communications Office - ECO, “Handbook SEAMCAT,” January 2010. [Online]. Disponível em: http://www.cept.org/files/1050/documents/SEAMCAT_Handbook_January_2010.pdf. [Acessado em 24 de Março de 2015].
- [2] International Telecommunication Union - ITU, "Report ITU-R BT.2035-1: Guidelines and techniques for the evaluation of digital terrestrial television broadcasting systems," Genève, Switzerland, 2004.
- [3] ABNT, “Norma Brasileira ABNT NBR 15601: Televisão digital terrestre — Sistema de transmissão,” Abril 2008.
- [4] ABNT, “Norma Brasileira ABNT NBR 15604: Televisão digital terrestre — Receptores,” Dezembro 2007.
- [5] ETSI, “ETSI TS 136.104 V11.2.0 - Technical Specification: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception,” November 2012. [Online]. Disponível em: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136104/11.02.00_60. [Acessado em 25 de Março de 2015].
- [6] 3rd Generation Partnership Project - 3GPP, “3GPP TS 36.101 V12.5.0 - Technical Specification: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception,” 2014. [Online]. Disponível em: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/12.05.00_60. [Acessado em 25 de Março de 2015].
- [7] International Telecommunication Union - ITU, “Recommendation ITU-R SM.328-11: Spectra and bandwidth of emissions,” 2006. [Online]. Disponível em: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.328-11-200605-I!!PDF-E.pdf. [Acessado em 29 de Março de 2015].