

## 4

# Simulações LTE e SBTVD na faixa de frequência de 700 MHz

### 4.1.

#### Introdução

Neste capítulo é descrito o cenário de coexistência entre o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) e o Sistema Móvel LTE HeNB Femtocell, apresentando as simulações desenvolvidas no programa Seamcat versão 4.0.1.

Cada cenário de simulação levou em conta a avaliação do parâmetro que reflete o comportamento da interferência de canal adjacente (*unwanted signal*) considerando a faixa de frequência de 700 MHz em um ambiente de propagação fechado (*indoor*) entre o sistema móvel LTE Release 10 Femtocélula e o SBTVD.

A escolha dos parâmetros de entrada para cada cenário simulado baseou-se nos requisitos e normas técnicas fornecidas no padrão do Sistema Brasileiro de TV digital (SBTVD), detalhado e disponível em [28-32].

O desenvolvimento destes cenários foi utilizado como base para estabelecer o *setup* experimental das medições, detalhado no Capítulo 5. No Capítulo 7 será apresentada uma análise comparativa dos cenários das simulações e das medições.

Finalmente, este capítulo apresenta uma avaliação e interpretação dos resultados obtidos conforme ao cenário de coexistência definido.

### 4.2.

#### Cenário de Interferência das LTE femtocélulas e coexistência com o SBTVD na banda de 700 MHz

Nos últimos anos, as comunicações móveis tiveram um grande desenvolvimento e evolução tecnológica. Hoje em dia, estão entrando na sua quarta geração (4G) conhecida como LTE. Uma boa opção para a implementação desta tecnologia é a utilização das faixas de frequências que serão liberadas depois

do processo de transição de TV analógica a TV digital que, no caso do Brasil, está previsto para o ano de 2016.

Entretanto, alguns dos problemas de coexistência aparecem entre o Sistema Móvel LTE e o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD) quando estas tecnologias são implantadas em faixas de frequências adjacentes. Embora utilizem diferentes bandas de frequência existem interferências de canal adjacente resultantes de imperfeições do filtro do receptor que ocasionam a degradação do desempenho em cada um dos sistemas.

No caso do SBTVD, a interferência produzida pelo Sistema Móvel LTE HeNB Femtocell no receptor de TV digital conduz à deterioração da sensibilidade ocasionando interrupções e eventualmente a redução da área de cobertura do sistema de televisão digital. Portanto, é importante definir os requisitos para proteger cada sistema da interferência mútua.

As investigações e pesquisas apresentadas em [48-53] consideram a avaliação da interferência entre o sistema móvel LTE e o sistema de TV digital tendo como objetivo principal a redução da interferência entre os ambos sistemas. Desta maneira, pode-se garantir a coexistência destas tecnologias a partir do estabelecimento de um limiar de proteção.

O principal propósito dos cenários de simulação desenvolvidos neste capítulo consiste em avaliar a probabilidade de interferência de canal adjacente (iRSS *unwanted*) devido à presença da femtocélula LTE HeNB na faixa de 700 MHz próximo do canal de TV digital 51 do SBTVD localizado em 695 MHz, de acordo com a alocação de frequências estabelecida pela ANATEL em [32].

#### **4.2.1. Parâmetros e Cenários de Simulação**

As simulações foram desenvolvidas gerando-se aproximadamente 80 mil eventos com o propósito de gerar mais eventos a serem avaliados e outorgar resultados mais confiáveis. Além disso, assegura-se a estabilidade do programa e dos cálculos de probabilidade de interferência obtidos.

Para a correta configuração dos cenários, os parâmetros correspondentes ao Sistema Brasileiro de TV Digital foram obtidos de [28], [30], [32] e são

resumidos na Tabela 17. Além disso, os parâmetros e requisitos técnicos da femtocélula HeNB foram obtidos de [3], [20-27] e são apresentados na Tabela 18.

A máscara de transmissão espectral utilizada na configuração da femtocélula HeNB foi apresentada na Fig. 4, detalhada no capítulo 2 desta dissertação.

**Tabela 17. Parâmetros de Televisão Digital**

Parâmetros SBTVD	
Banda de Frequência [MHz]	695
Potência [dBm]	69
Largura de Faixa [MHz]	5.7
Esquemas de Modulação	QPSK , 16 QAM, 64 QAM
Sensibilidade do Receptor TV digital [dBm]	-89.22 ; -82.42 ; -77.42
Raio de Cobertura [km]	42
Altura da torre de transmissão TV digital + morro [m]	600

**Tabela 18. Parâmetros Femtocélula HeNB**

Femtocélula HeNB	
Banda de Frequência [MHz]	700, 701, 702,703,704,705 (FDD)
Potência [dBm]	20; 15; 10; 5
Largura de Faixa [MHz]	10
Power Control Step Size [dB]	0.5
Limiar Mínimo de Detecção [dBm]	-10
Faixa Dinâmico [dB]	20
Altura (m)	3

Os modelos de propagação utilizados no cenário *indoor* correspondem ao modelo de propagação da ITU-R P. 1546-4 Land, considerando apenas o modo de transmissão *Broadcasting Digital System* [38] e o modelo Estendido Hata modificado (*Extended Hata SRD*), detalhado em [15] [16], desenvolvido pela CEPT no projeto TEAM SE24 para estudos de *Short Range Devices* (Dispositivos de Curto Alcance) conhecido como HATA-SRD [15] [16].

O cenário de simulação para a obtenção da probabilidade de interferência de canal adjacente consiste de dois sistemas situados em um ambiente fechado com a configuração típica de transmissão de TV digital, no Modo 3 [31]. A configuração do Modo 3 utiliza um intervalo de guarda de 1/8 que corresponde um comprimento do intervalo de 126  $\mu$ s, taxa de FEC de 3/4 e um *time interleaving* igual a 200 milissegundos, segundo o estabelecido e descrito em [28] [31].

Outras características e parâmetros técnicos são apresentados na seguinte Tabela 19, definidos segundo os requisitos mencionados em [28] [31].

**Tabela 19. Parâmetros e características técnicas do SBTVD**

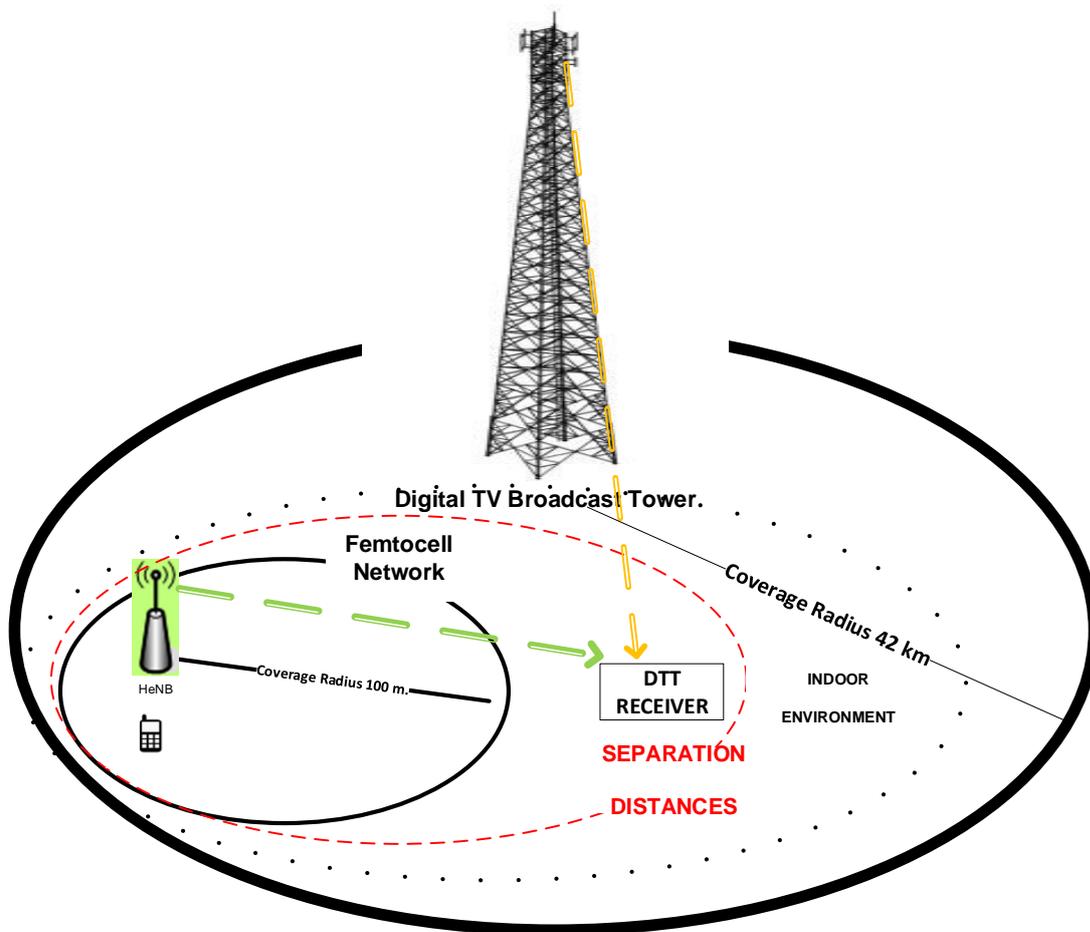
NIVEL MINIMO DE ENTRADA				
FATOR	SIMBOLO	VALOR	FORMULA/COMENTÁRIOS	
Largura de Faixa Ocupada	B (MHz)	5,70E+06		
Constante de Boltzmann	k (Ws/k)	1,38E-23		
Temperatura Absoluta	T(Kelvin)	290		
Thermal Noise	Nt (dBm)	-106,4184806	Nt=10log (kTB)+30	
Figura de Ruído do Receptor	Nr(dB)	10		
Noise Floor	dBm	-96,4184806		
<b>Limiar de C/N (Sistema Digital)</b>	C/N (dB)	19	<b>64QAM</b>	<b>FEC 3/4</b>
	C/N (dB)	14	<b>16QAM</b>	
	C/N (dB)	7,2	<b>QPSK</b>	
<b>Minima Potencia do Sinal</b>	Ps(dBm)	-77,4184806	<b>Ps=Nt+Nr+C/N</b>	<b>64QAM</b>
		-82,4184806		<b>16QAM</b>
		-89,2184806		<b>QPSK</b>

### Cenário de Simulação

O cenário de simulação considera dos sistemas, a vítima e o interferente. O **Sistema Vítima** corresponde ao Sistema de TV Digital assumindo o canal de TV digital 51 operando em 695 MHz e uma largura de banda igual a 5.7 MHz. A posição da torre de TV digital é fixa e seu raio de cobertura é de aproximadamente 42 km [32] dentro do qual o receptor de TV digital está posicionado aleatoriamente com diferentes distâncias de separação que variam entre 2 metros e 25 metros da posição da rede femtocélula HeNB.

O **Sistema Interferente** é formado pela femtocélula LTE HeNB e um usuário localizado aleatoriamente na área de cobertura da femtocélula, definida como 100 metros. A femtocélula HeNB está situada em uma frequência próxima do canal de TV digital 51 (695 MHz) na faixa de 700 MHz, assumindo-se diferentes frequências de guarda ou offset a um passo de 1 MHz entre 700 e 705 MHz.

A figura 44. ilustra o cenário de simulação desenvolvido no programa Seacat versão 4.0.1.



**Fig. 44 Cenário Coexistência entre SBTVD e LTE Femtocell HeNB**

A seguir é apresentada a través de gráficos, a execução típica da simulação que considera diferentes esquemas de modulação do terminal receptor. É necessário executar cada cenário de simulação mais de uma vez a fim de garantir a estabilidade do programa e dos resultados no cenário de simulação.

Cada simulação leva cerca de 30 segundos, gerando aproximadamente 80,000 eventos, mas, para garantir a estabilidade do programa, no máximo são apresentados 1000 eventos [15].

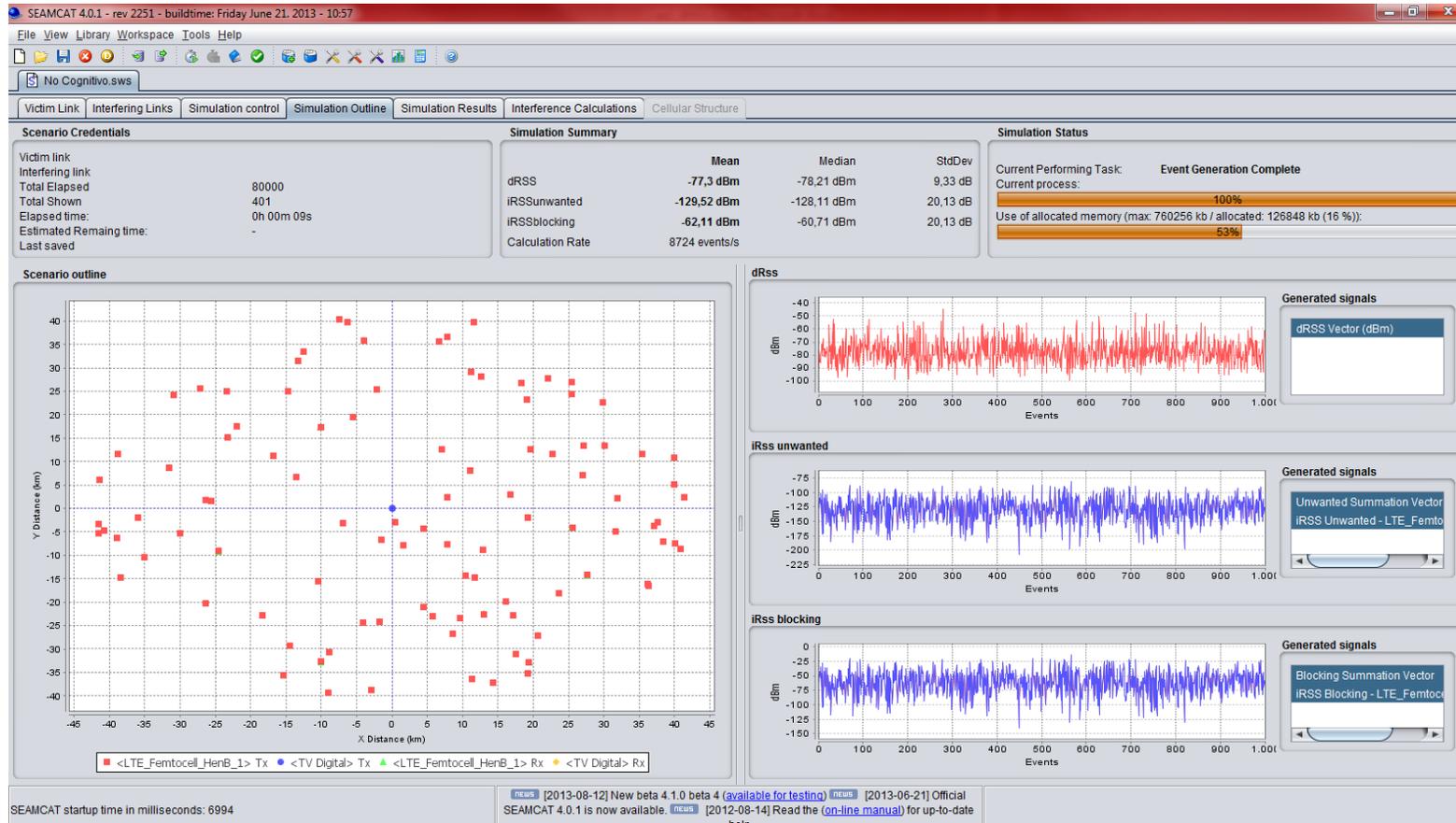
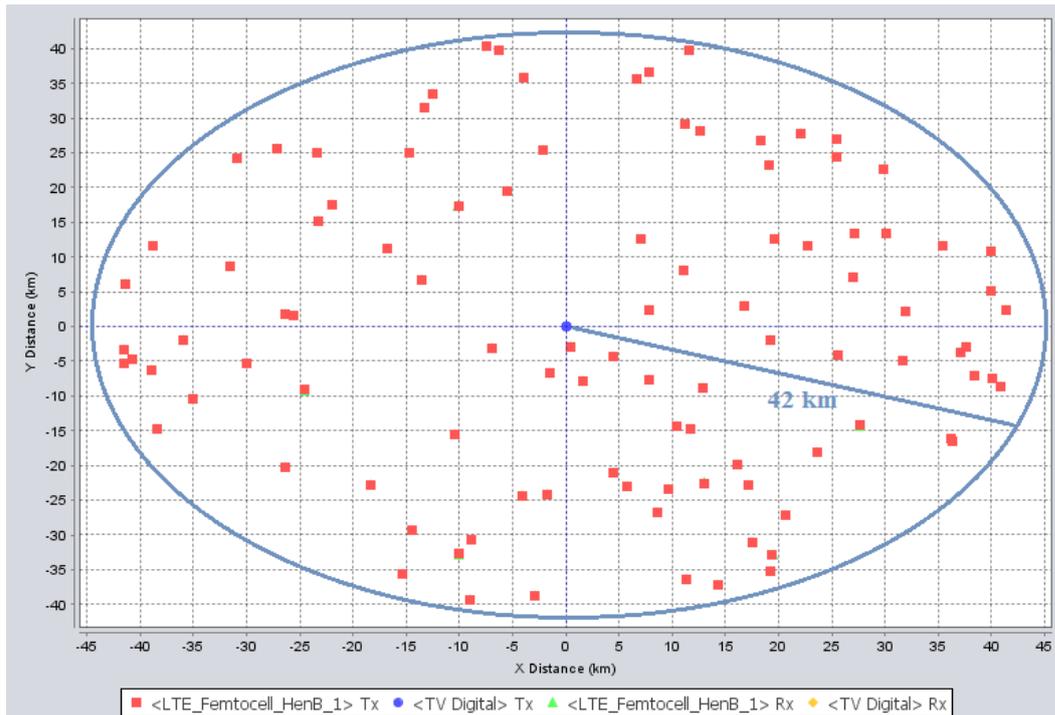


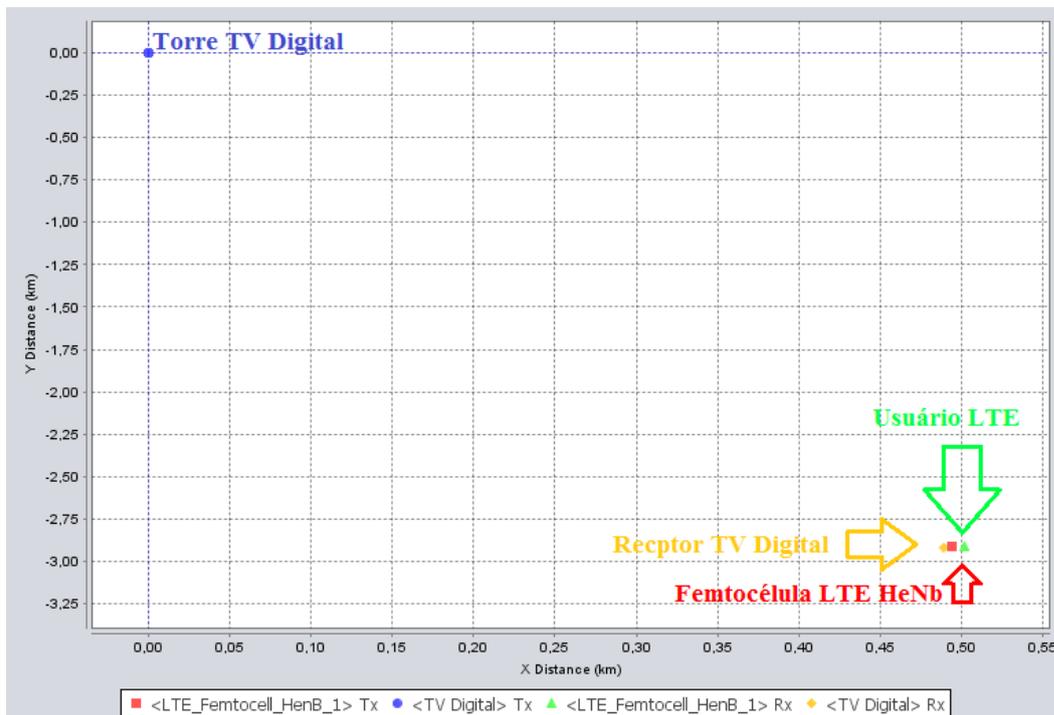
Fig. 45 Cenário Coexistência LTE – SBTVD em 700 MHz (execução simulação no programa SEAMCAT)

A fig. 45 ilustra os diferentes valores médios do sinal desejado (*dRSS*), sinal interferente de canal adjacente (*iRSS Unwanted*) e do sinal de bloqueio (*iRSS blocking*) a partir dos quais é calculada a probabilidade de interferência.



**Fig. 46 Execução de uma Simulação**

Na fig. 46 ilustra a execução típica da simulação no programa Seamcat versão 4.0.1, mostrando a localização aleatória do Sistema Interferente e do Vitima mantendo apenas fixa a distância de separação entre a femtocélula HeNB e o receptor de TV digital dentro dos 42 quilômetros de raio de cobertura da torre de TV digital.



**Fig. 47 Configuração Básica de um Evento (zoom simulação SEAMCAT)**

Na figura anterior (Ver Fig. 47) pode-se perceber que os pontos da cor vermelha fazem referência às femtocélulas HeNB que assumem diferentes distâncias de separação (entre 2 e 25 metros) respeito da localização do receptor de TV digital. Os pontos da cor verde indicam a localização aleatória do usuário LTE dentro da área de cobertura da femtocélula estabelecida em 100 metros aproximadamente. O ponto da cor amarelo faz referência ao receptor de TV digital e finalmente, o ponto azul mostra a posição fixa da torre de TV digital.

#### 4.2.2. Resultados das Simulações

Os resultados dos cenários simulados no programa SEAMCAT consideram diferentes potências de transmissão da femtocélula HeNB variando-as desde 20 dBm até 5 dBm aproximadamente. Além disto, foram considerados diferentes esquemas de modulação (64 QAM, 16 QAM, QPSK) configurados no terminal receptor de TV digital obtendo em cada cenário de simulação o parâmetro de avaliação de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ).

As seguintes figuras ilustram os resultados das simulações segundo a probabilidade de interferência devido ao vazamento de canal adjacente expressa em porcentagem em função das diferentes distâncias de separação (entre 2 e 25 metros) respeito da localização do Sistema Vítima.

Além disso, com o propósito de estabelecer o raio de proteção que garanta a coexistência entre os ambos os sistemas assume-se o controle de potência na femtocélula HeNB e a configuração de frequências de guarda ou offset que variam desde 700 MHz a 705 MHz a um passo de 1 MHz.

As figuras 48 - 53 mostram a avaliação da probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para diferentes distâncias de separação e frequências offset.

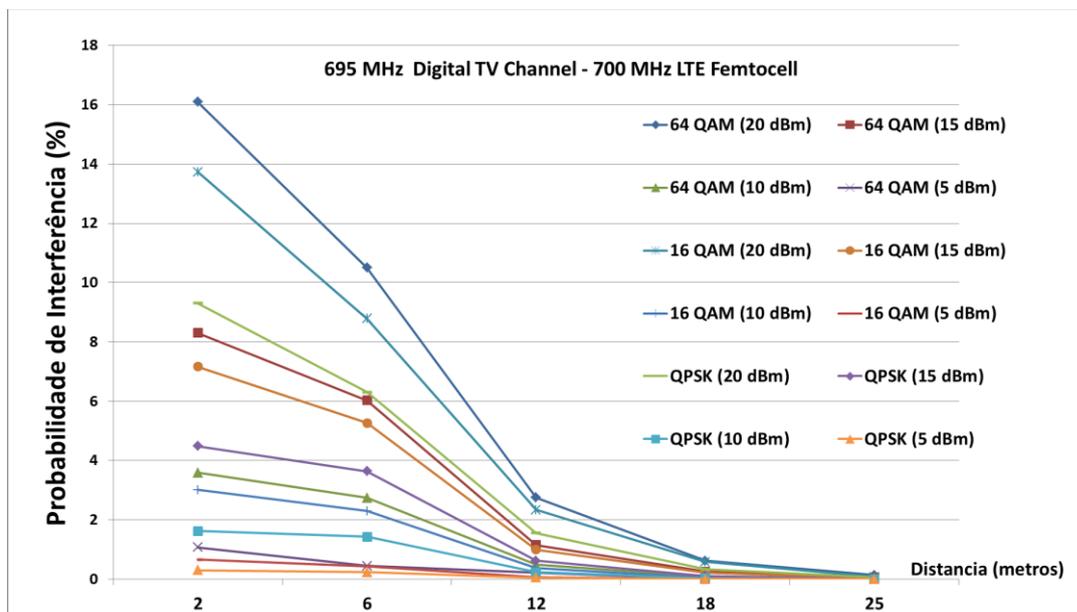


Fig. 48 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (700 MHz)

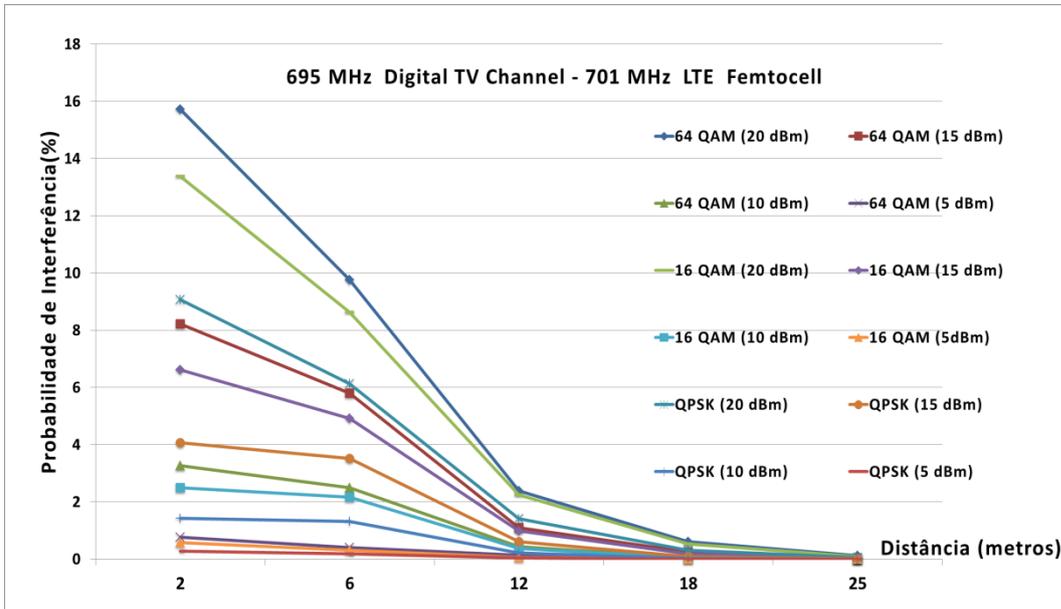


Fig. 49 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (701 MHz)

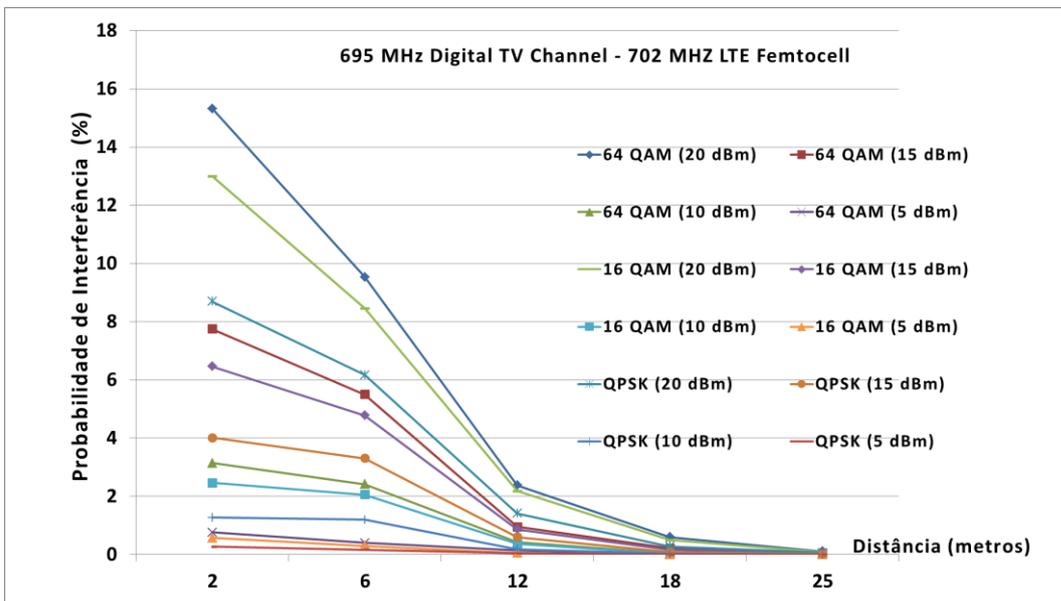


Fig. 50 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (702 MHz)

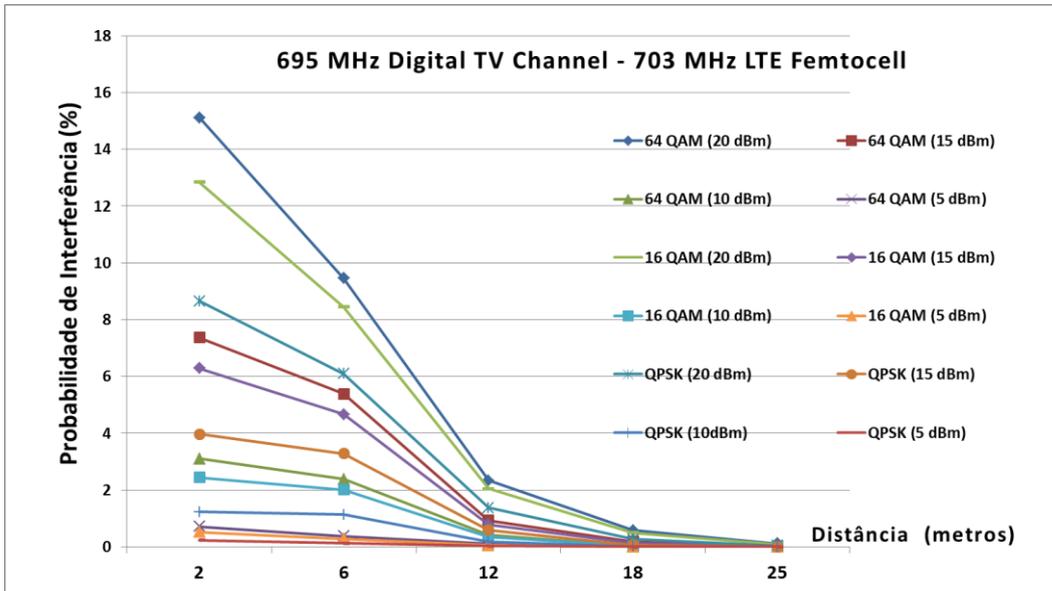


Fig. 51 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (703 MHz)

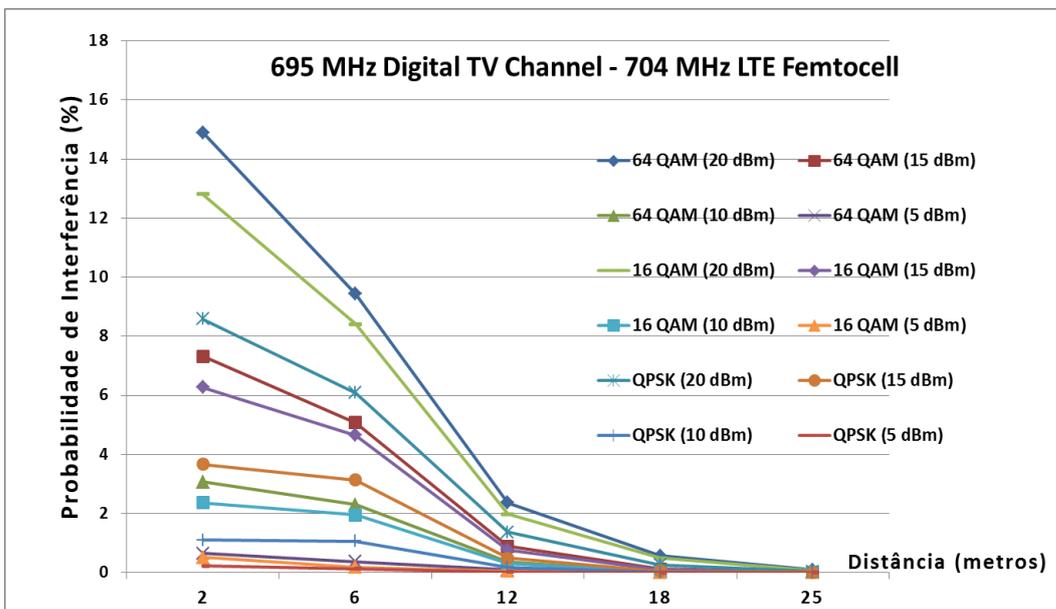


Fig. 52 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (704 MHz)

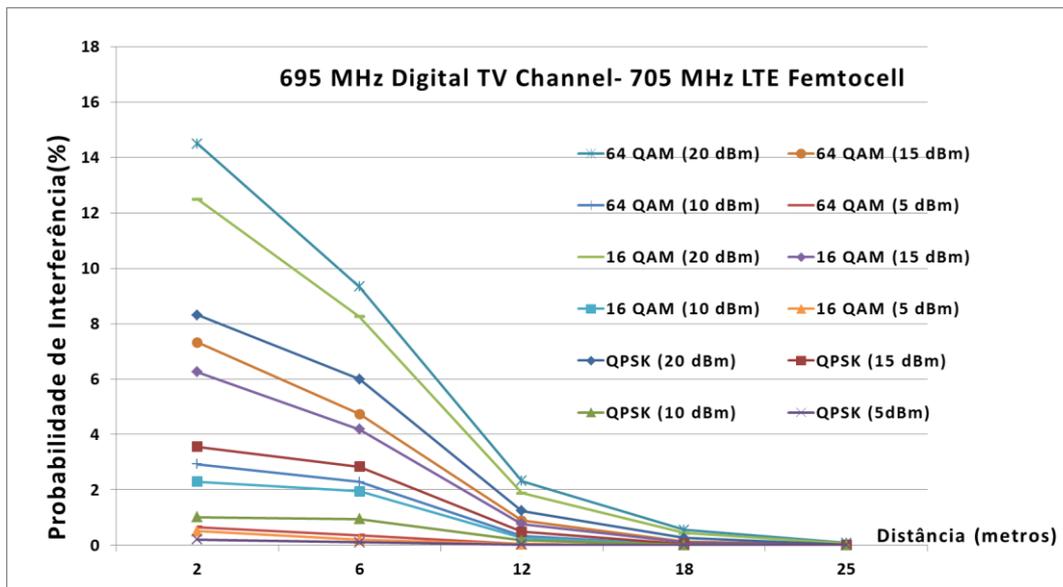


Fig. 53 Probabilidade de Interferência de Canal Adjacente vs. Distância de Separação entre SBTVD e LTE Femtocell (705 MHz)

Os resultados obtidos no cenário de simulação mostram que, ao utilizar o esquema de modulação QPSK no receptor de TV digital, obtém-se as menores probabilidade de interferência de canal adjacente devido à presença do interferente (femtocélula LTE HeNB) pois esta modulação é mais robusta ante a interferência.

Quando as modulações 64 QAM ou 16 QAM são utilizadas no cenário de simulação, a probabilidade de interferência ( $iRSS_{unwanted}$ ) aumenta consideravelmente demonstrando que o pior cenário de coexistência se dá quando a modulação 64 QAM é utilizada no receptor vítima (terminal recepção SBTVD).

Os resultados obtidos nas simulações mostram que em 700 MHz e a uma distância de separação de 2 metros, as probabilidades de interferência são iguais a 17 %, 13 % e 9 % para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK, respectivamente, quando é utilizada a potência máxima da femtocélula sendo este o cenário mais crítico de convivência destas duas tecnologias.

A partir de 12 metros de separação entre os sistema vítima e interferente, a probabilidade de interferência ( $iRSS_{unwanted}$ ) diminui. Em 18 e 25 metros de separação a probabilidade de interferência de canal adjacente é menor do que 1%. O melhor cenário de convivência se apresenta quando o sistema interferente opera

em 705 MHz e utiliza-se a modulação QPSK, obtendo-se valores de probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) igual a 1% com a potência máxima da femtocélula (20 dBm).

As figuras apresentadas a seguir, mostram a probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para cada frequência de guarda (entre 700 – 705 MHz) considerando distâncias de separação entre 2 e 25 metros em função da potência de transmissão da femtocélula HeNB.

As Fig. 54 – 59 correspondem aos resultados obtidos da probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para 2 metros de separação para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK.

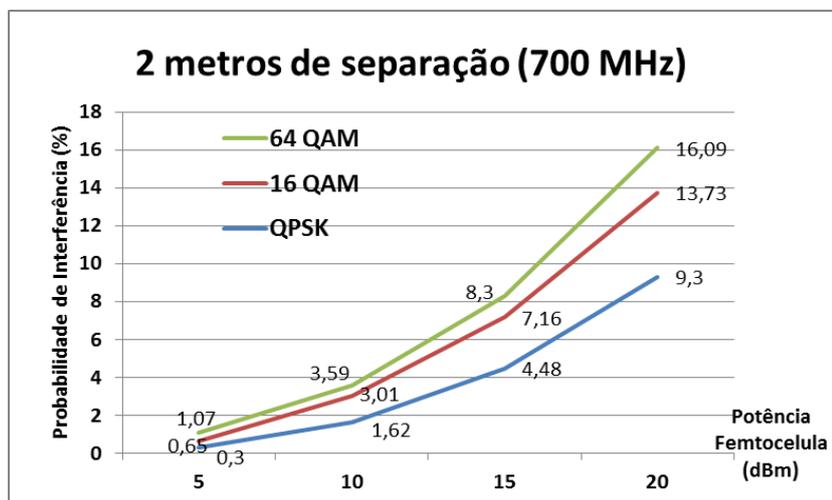


Fig. 54 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação (700 MHz)

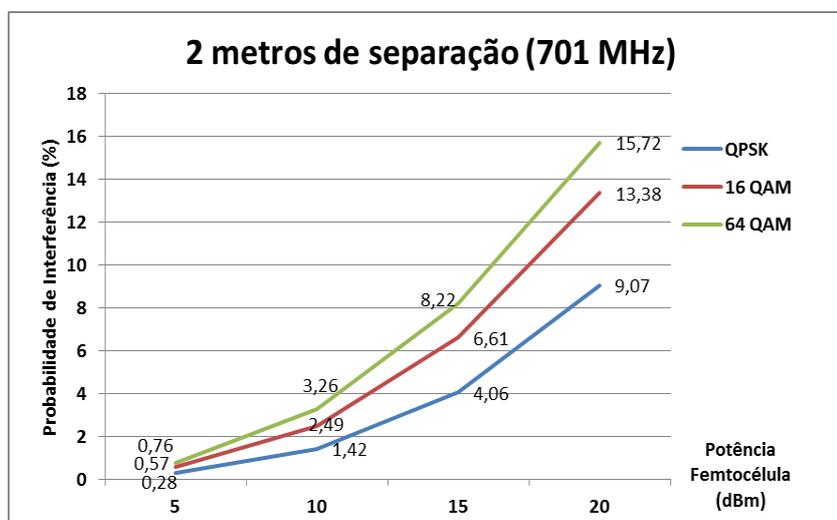


Fig. 55 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação (701 MHz)

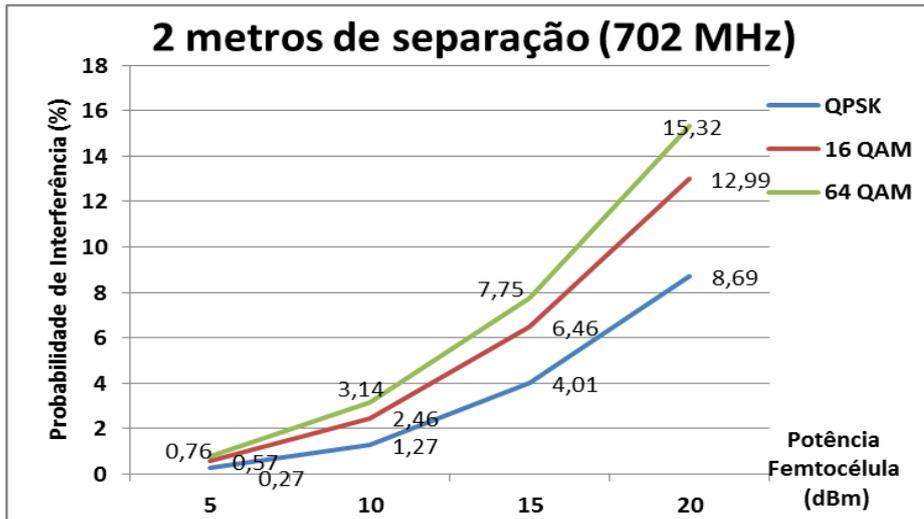


Fig. 56 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação (702 MHz)

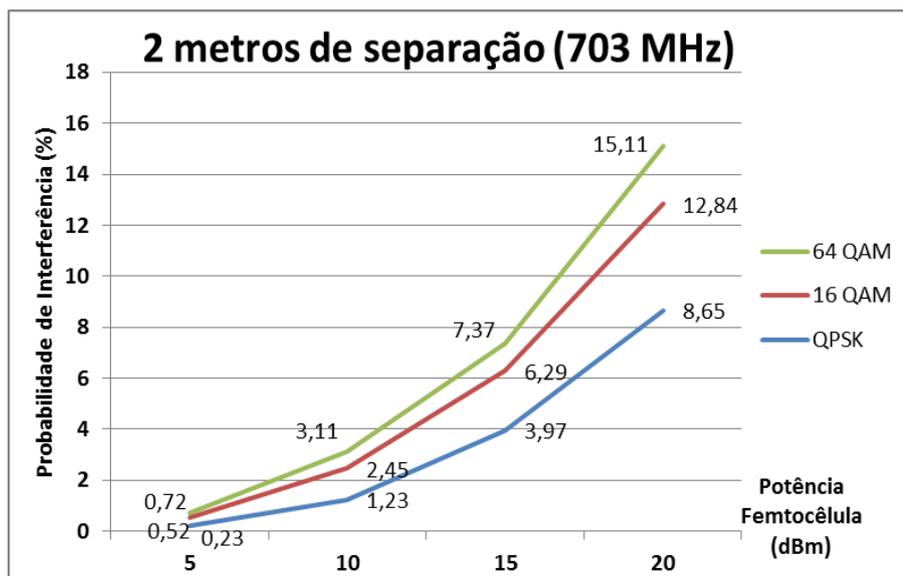


Fig. 57 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação (703 MHz)

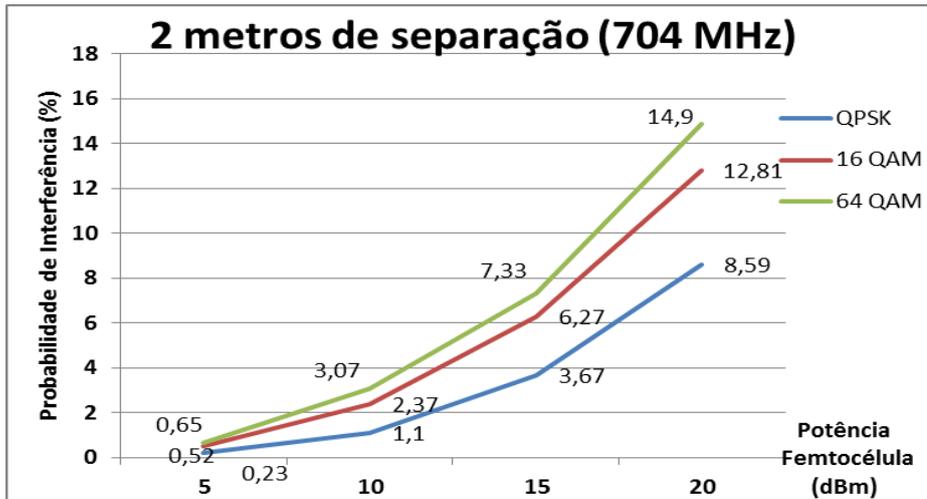


Fig. 58 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação(704 MHz)

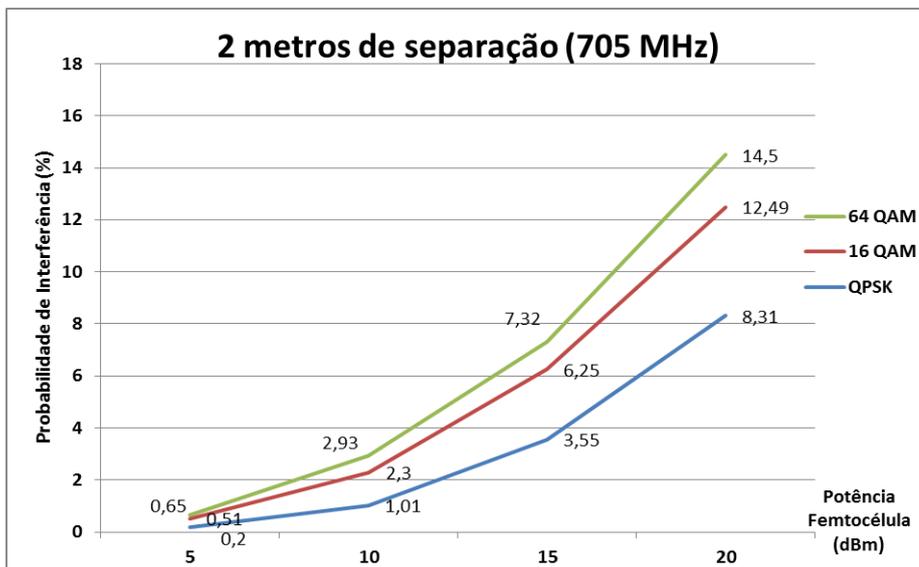


Fig. 59 Probabilidade de Interferência a 2 metros de separação (705 MHz)

As Fig. 60 a 65 mostram os resultados da probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para 6 metros de separação para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK configuradas no receptor vítima (SBTVD).

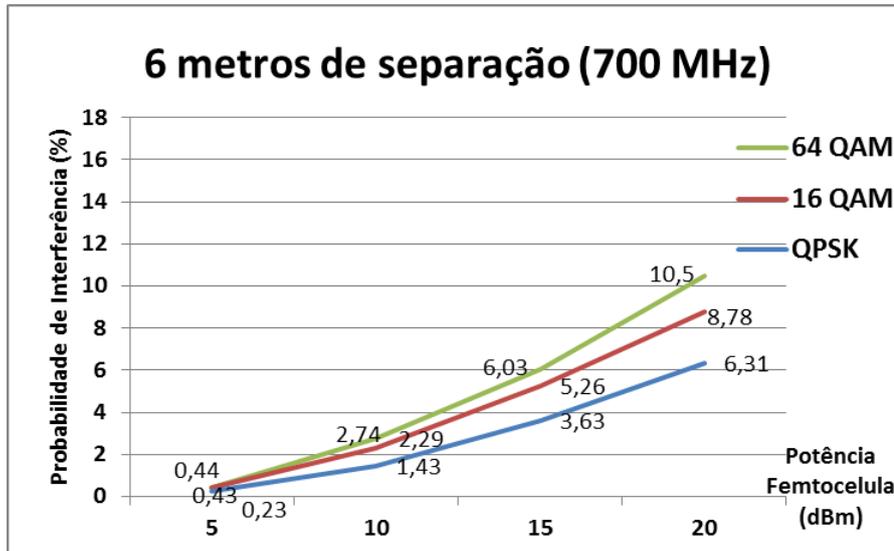


Fig. 60 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (700 MHz)

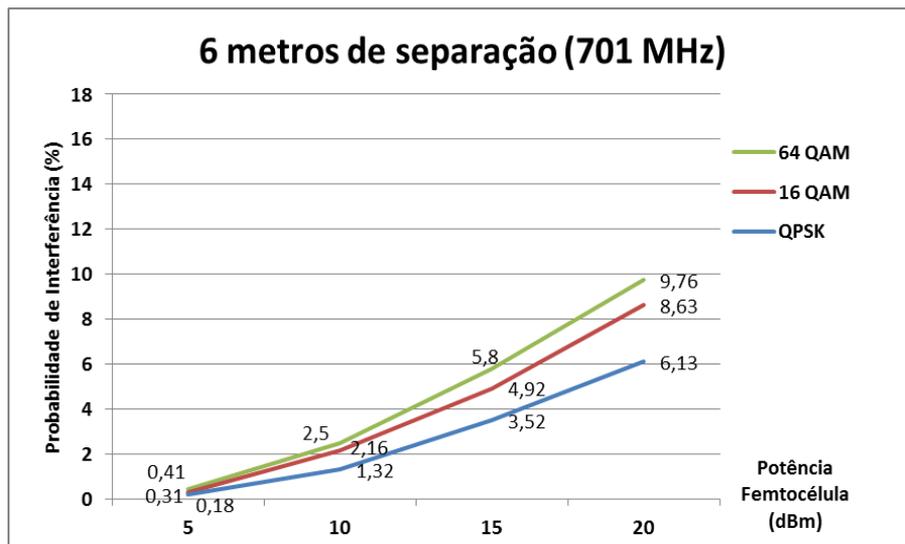


Fig. 61 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (701 MHz)

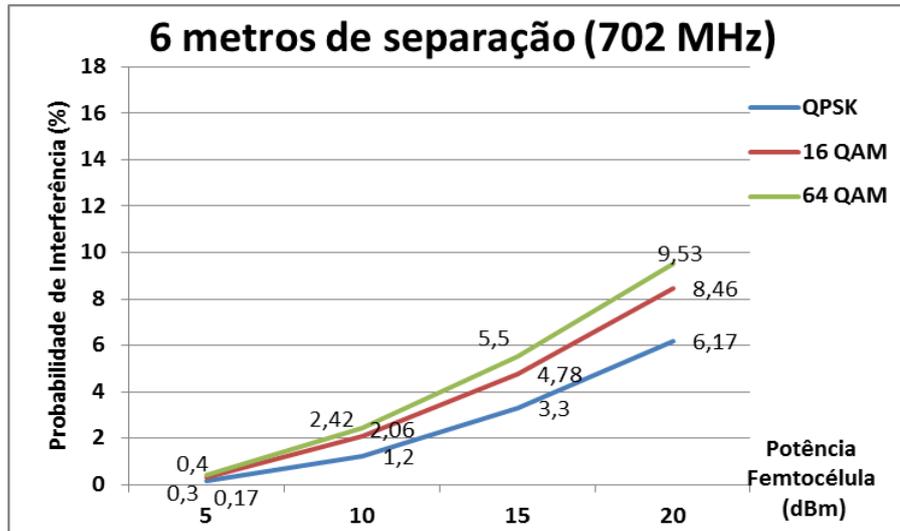


Fig. 62 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (702 MHz)

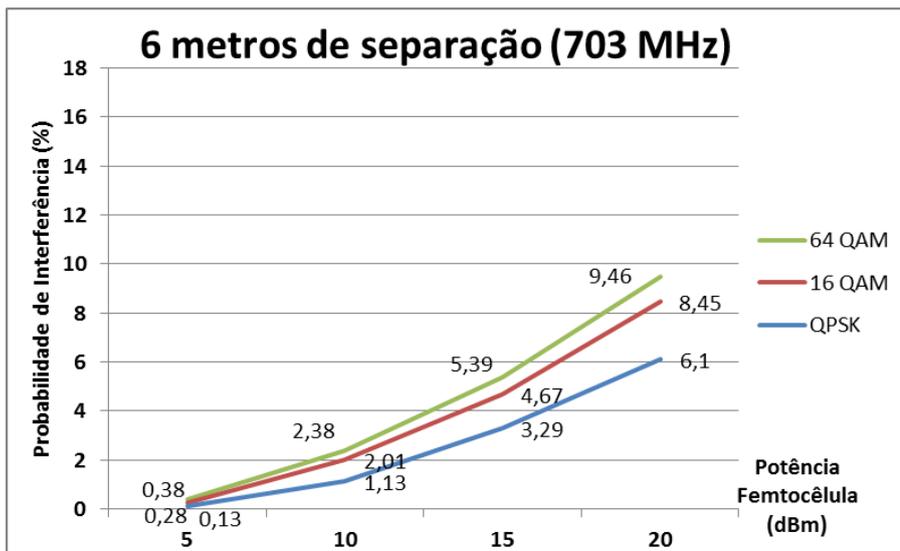


Fig. 63 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (703 MHz)

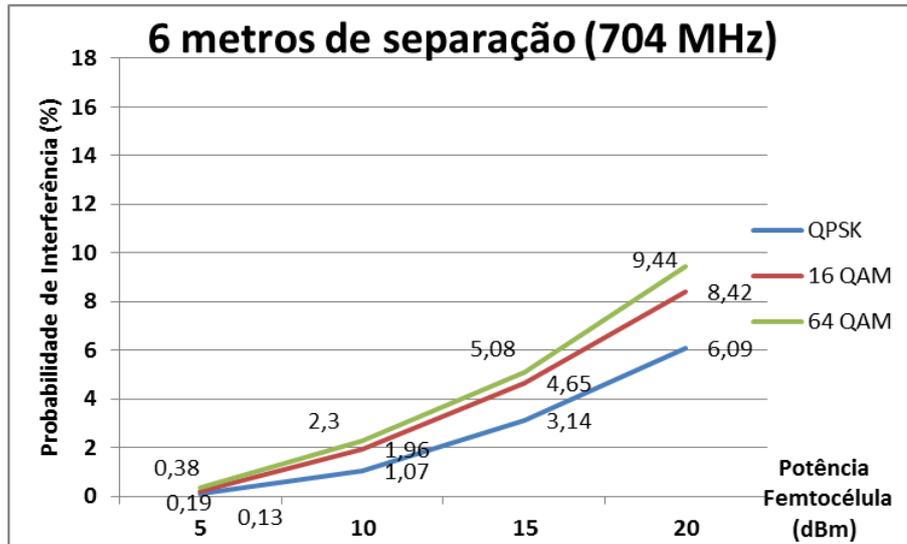


Fig. 64 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (704 MHz)

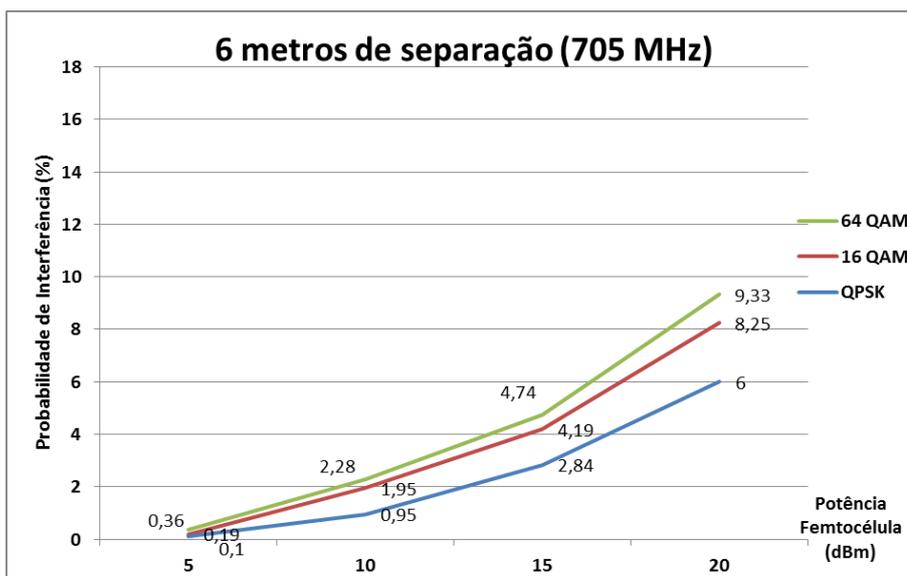


Fig. 65 Probabilidade de Interferência a 6 metros de separação (705 MHz)

As figuras 66 – 71 mostram os resultados obtidos da probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para 12 metros de separação entre o Sistema Vítima e Interferente para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK.

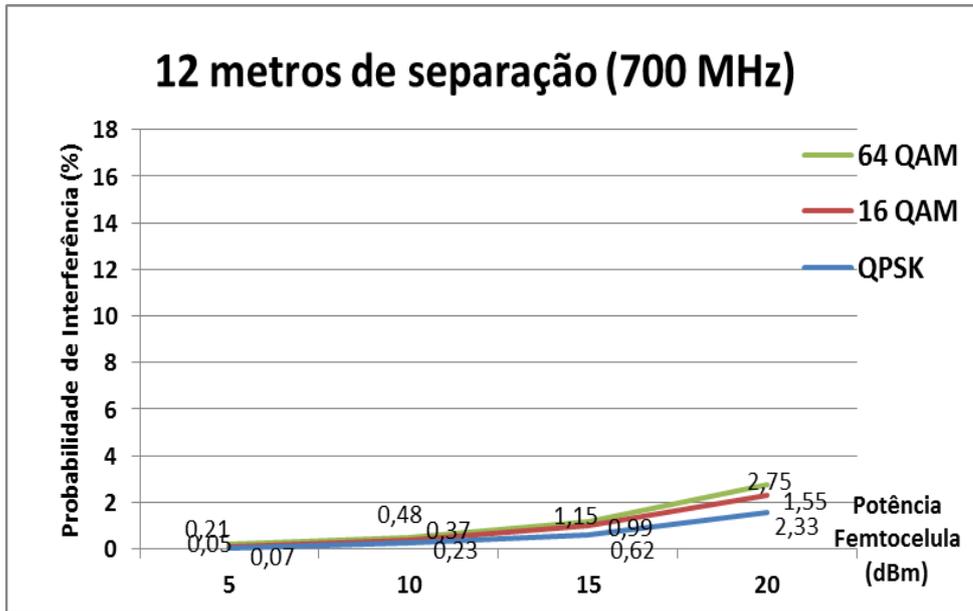


Fig. 66 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (700 MHz)

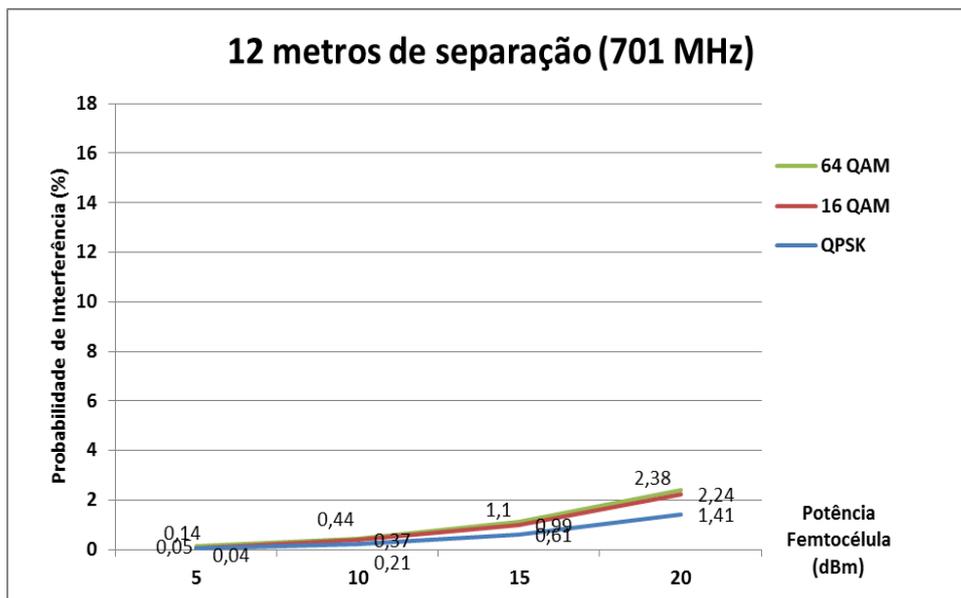


Fig. 67 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (701 MHz)

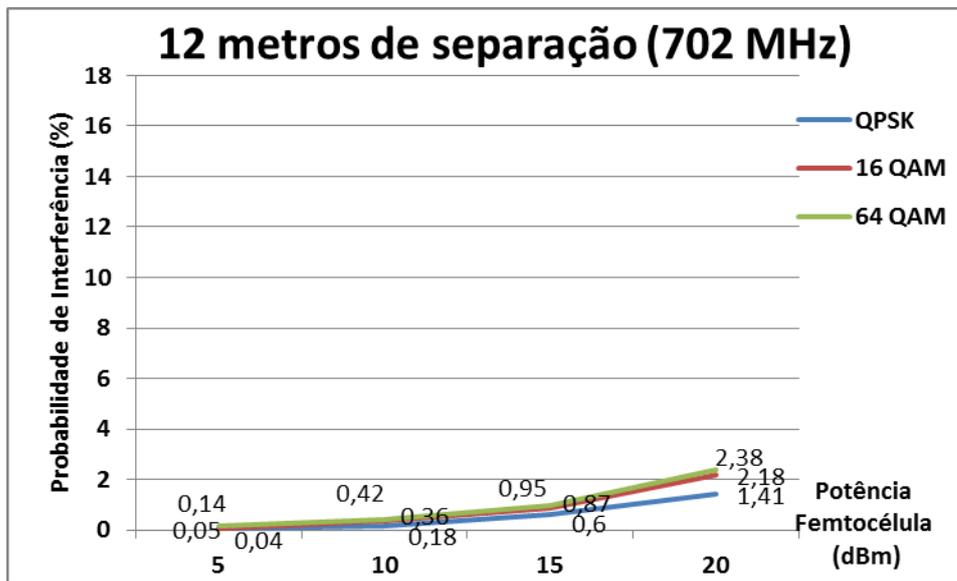


Fig. 68 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (702 MHz)

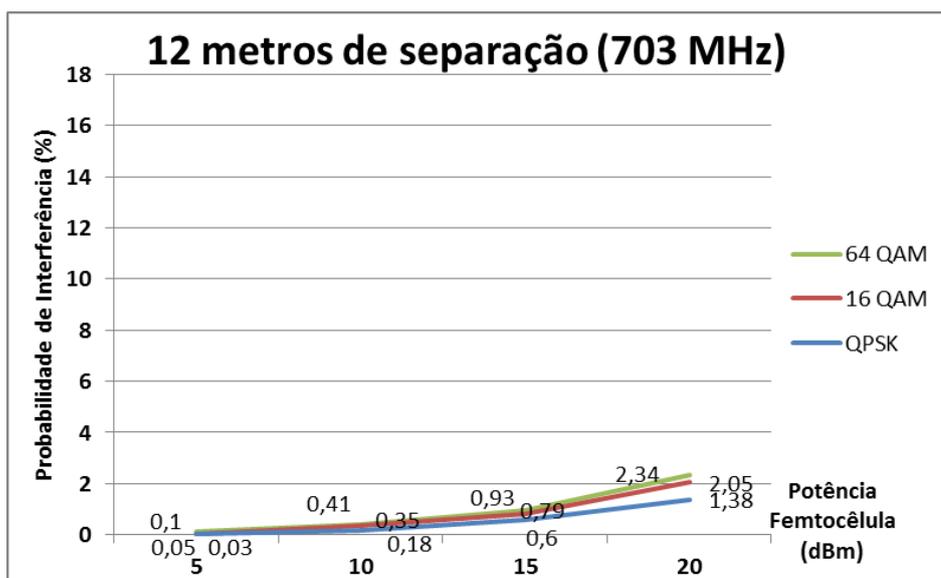


Fig. 69 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (703 MHz)

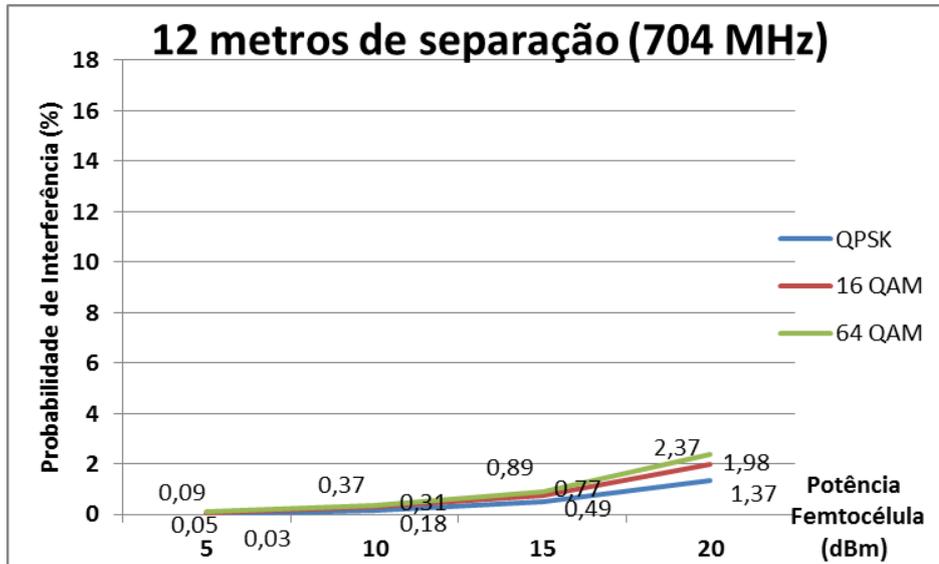


Fig. 70 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (704 MHz)

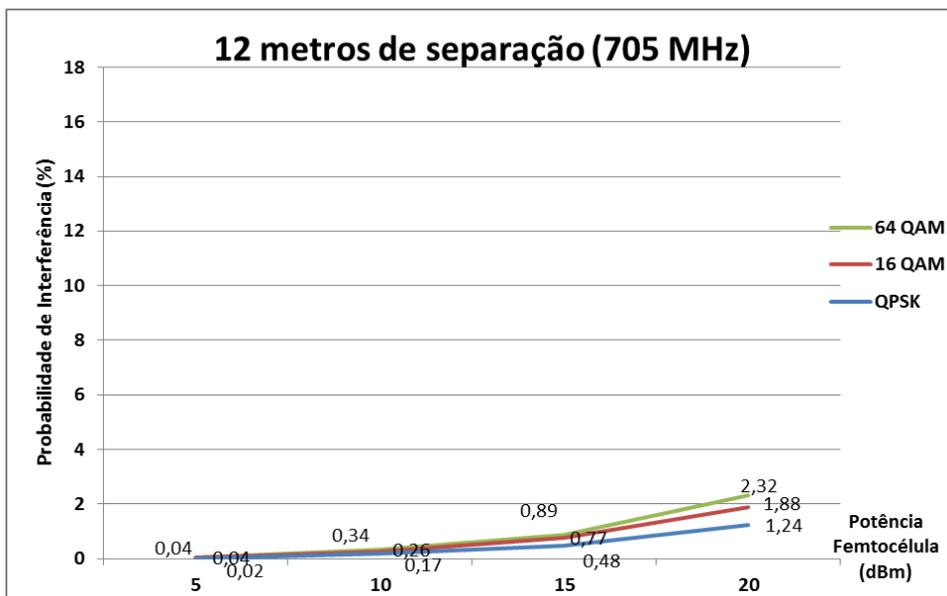


Fig. 71 Probabilidade de Interferência a 12 metros de separação (705 MHz)

As figuras 72– 77 apresentam-se os resultados obtidos da probabilidade de interferência de canal adjacente ( $iRSS_{unwanted}$ ) para 18 metros de separação para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK.

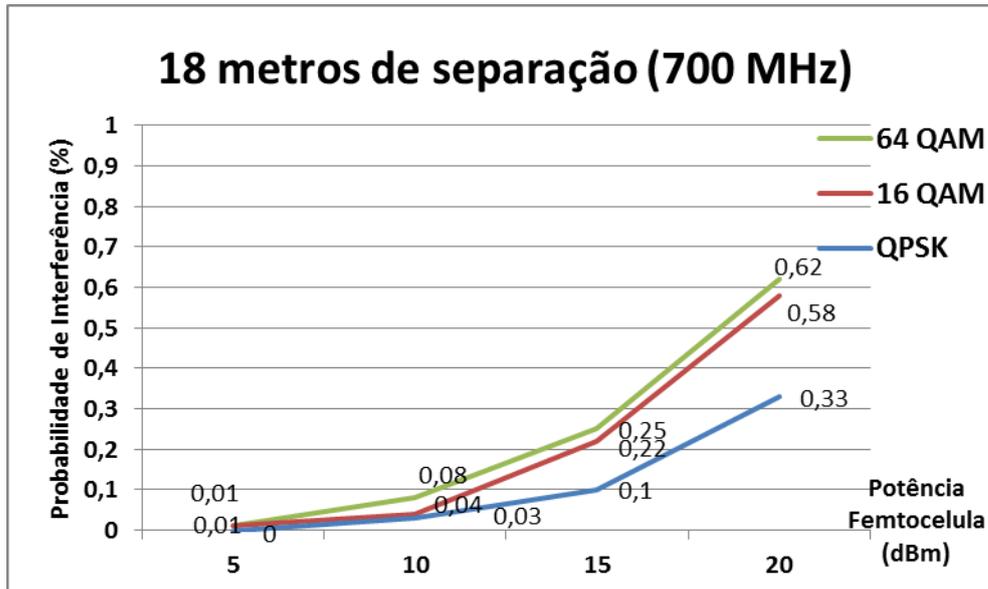


Fig. 72 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (700 MHz)

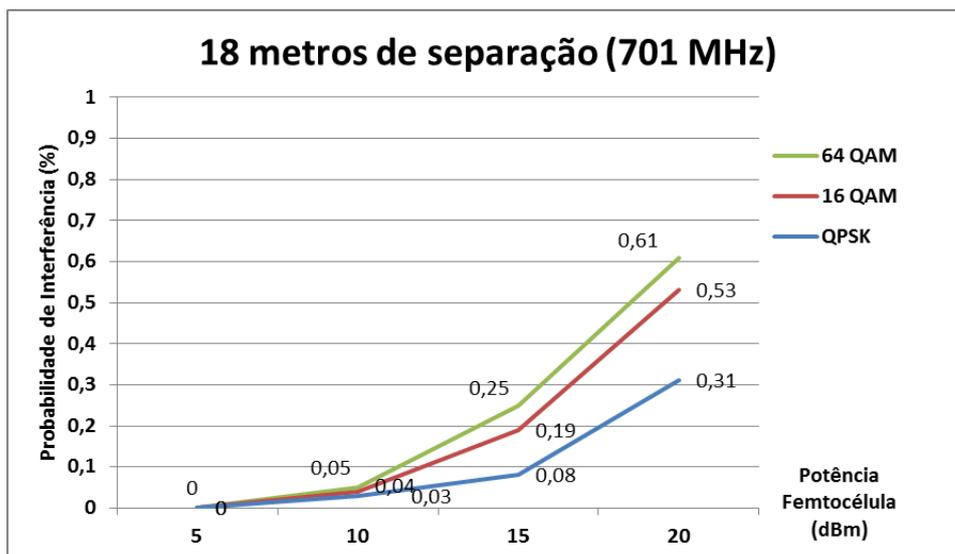


Fig. 73 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (701 MHz)

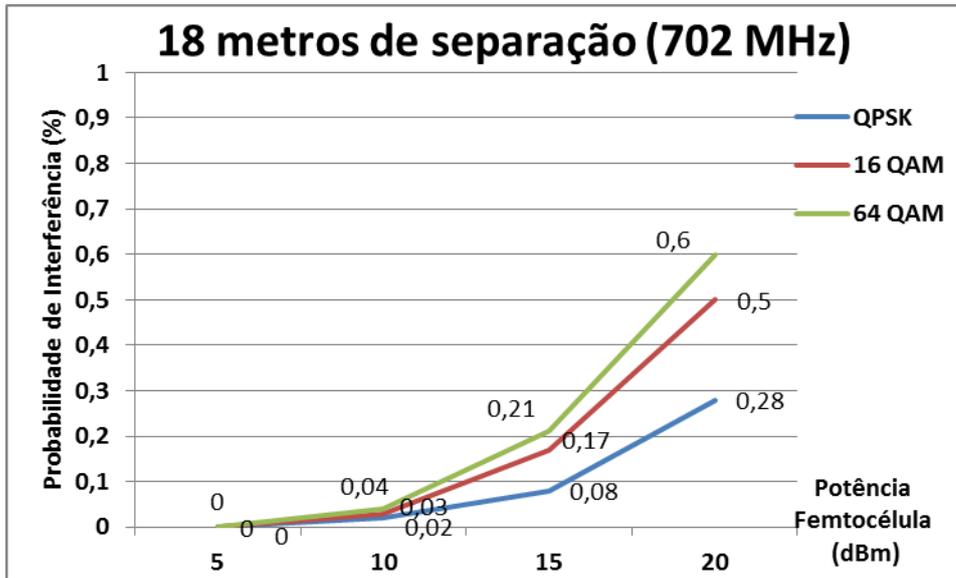


Fig. 74 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (702 MHz)

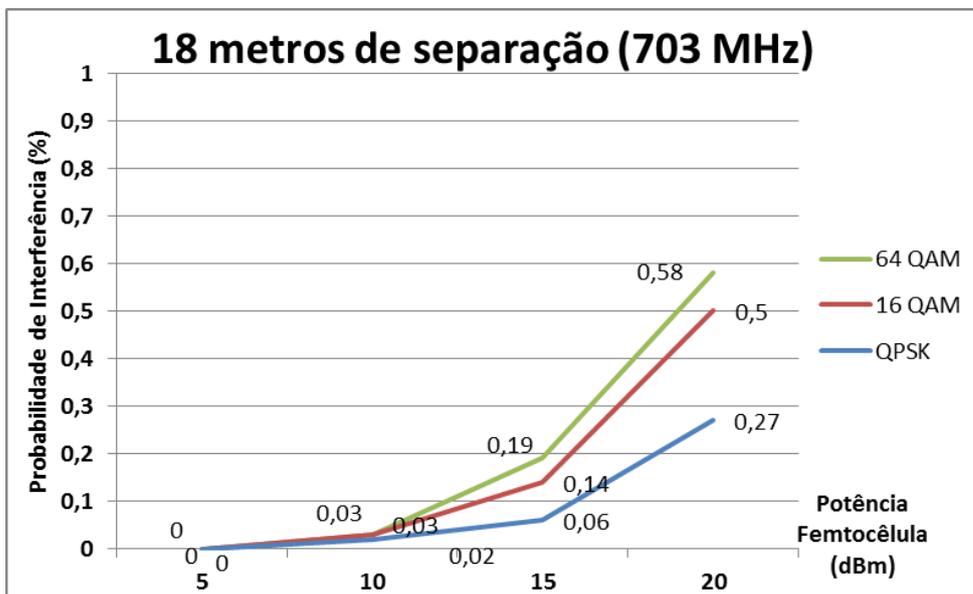


Fig. 75 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (703 MHz)

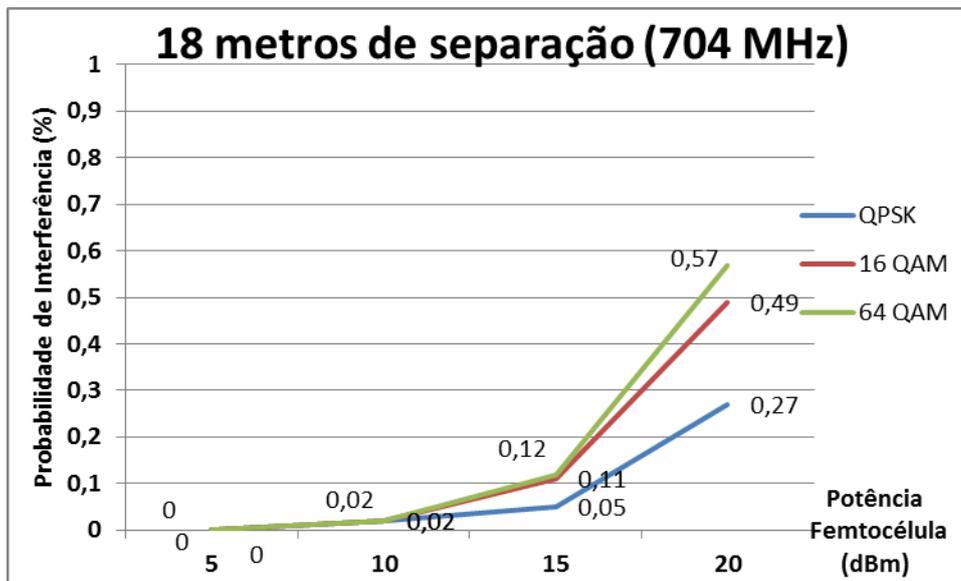


Fig. 76 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (704 MHz)

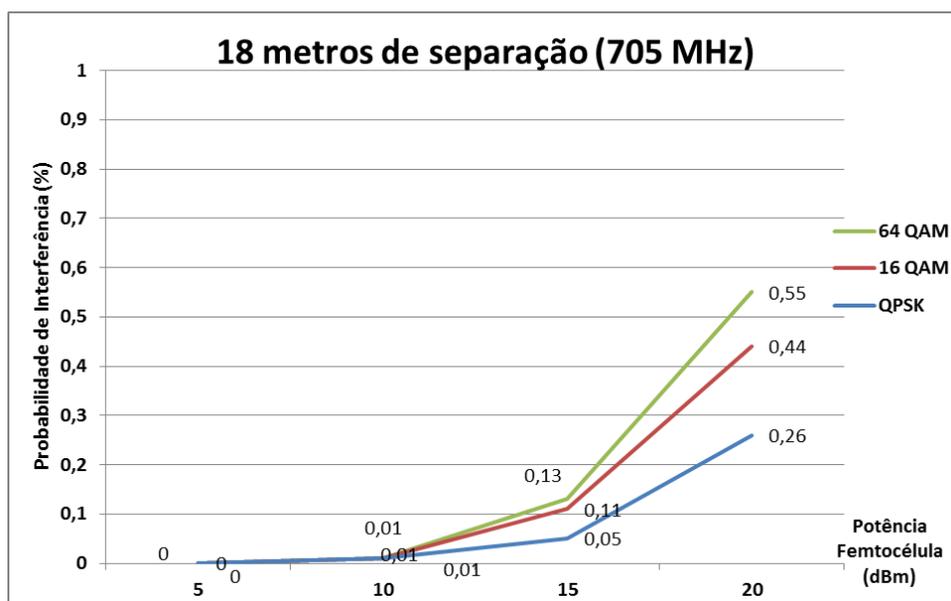


Fig. 77 Probabilidade de Interferência a 18 metros de separação (705 MHz)

Os resultados de probabilidade de interferência de canal adjacente para 25 metros de separação entre o Sistema Vítima e o Interferente para as modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK definidas no receptor SBTVD são representadas nas figuras 78 a 83.

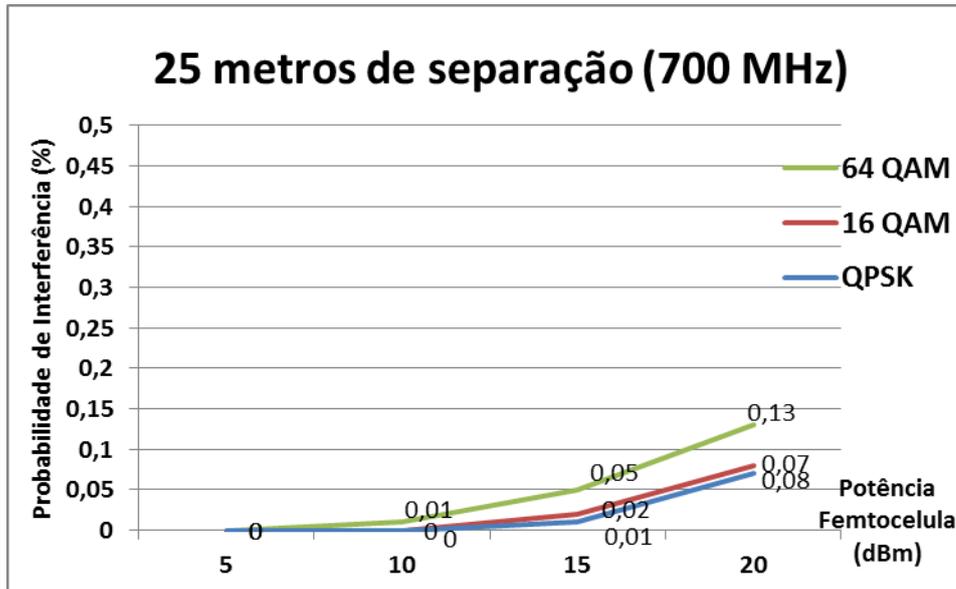


Fig. 78 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (700 MHz)

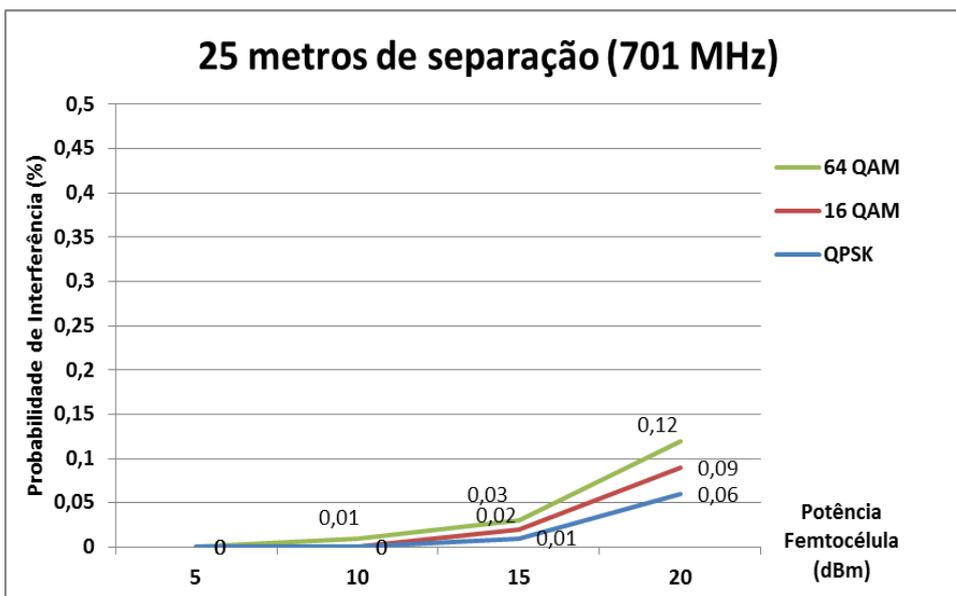


Fig. 79 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (701 MHz)

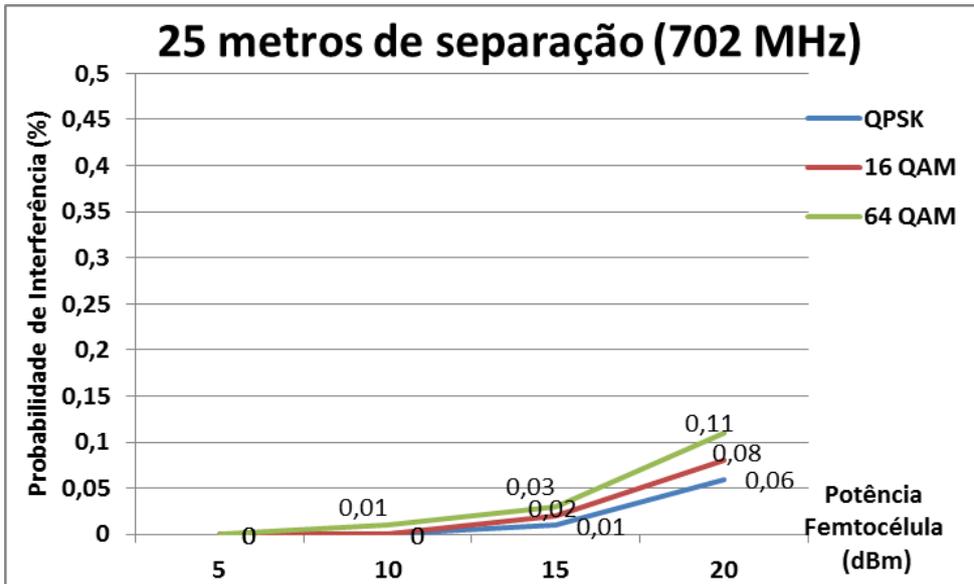


Fig. 80 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (702 MHz)

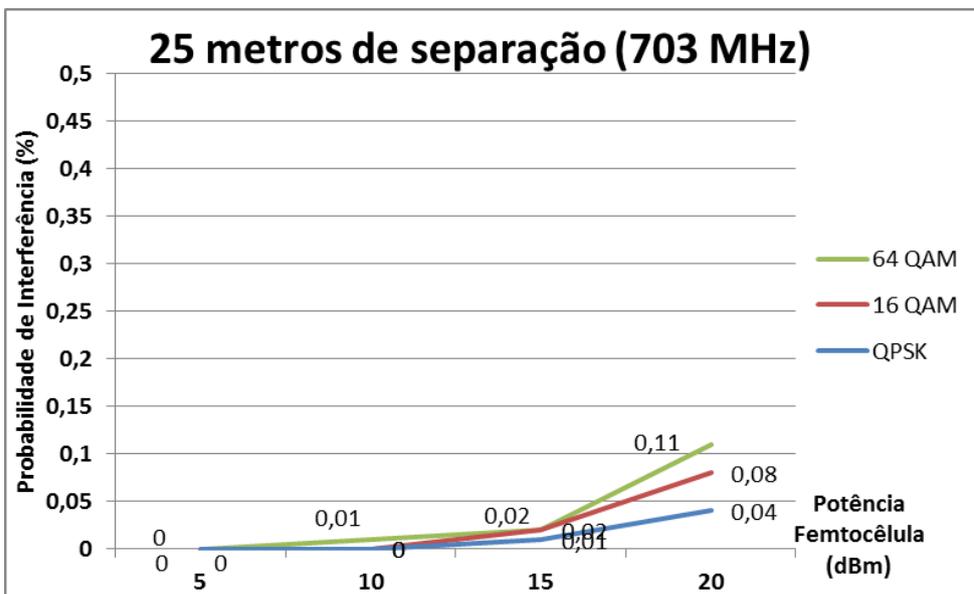


Fig. 81 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (703 MHz)

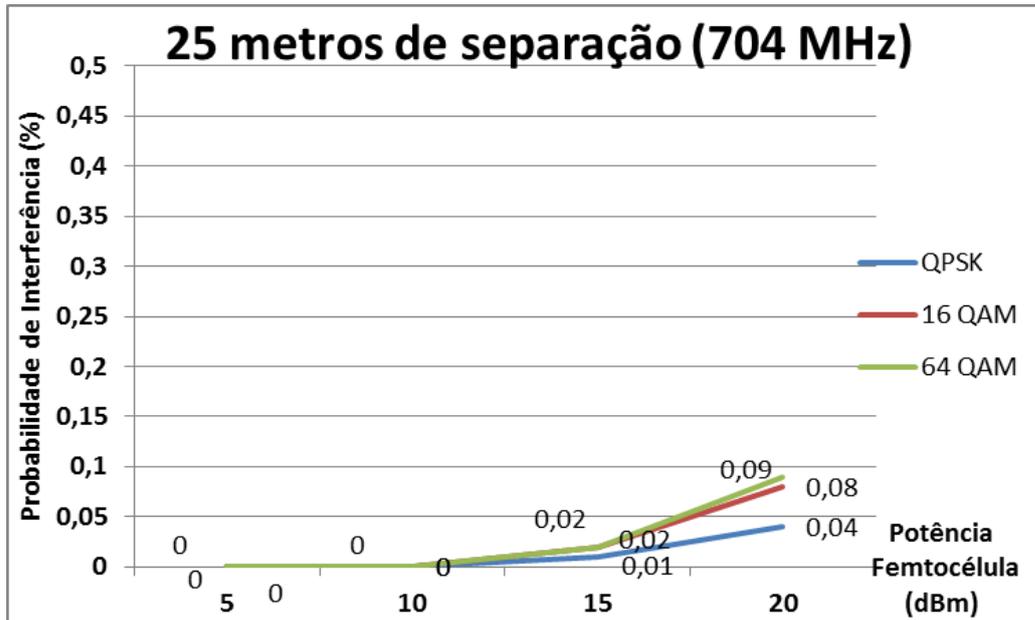


Fig. 82 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (704 MHz)

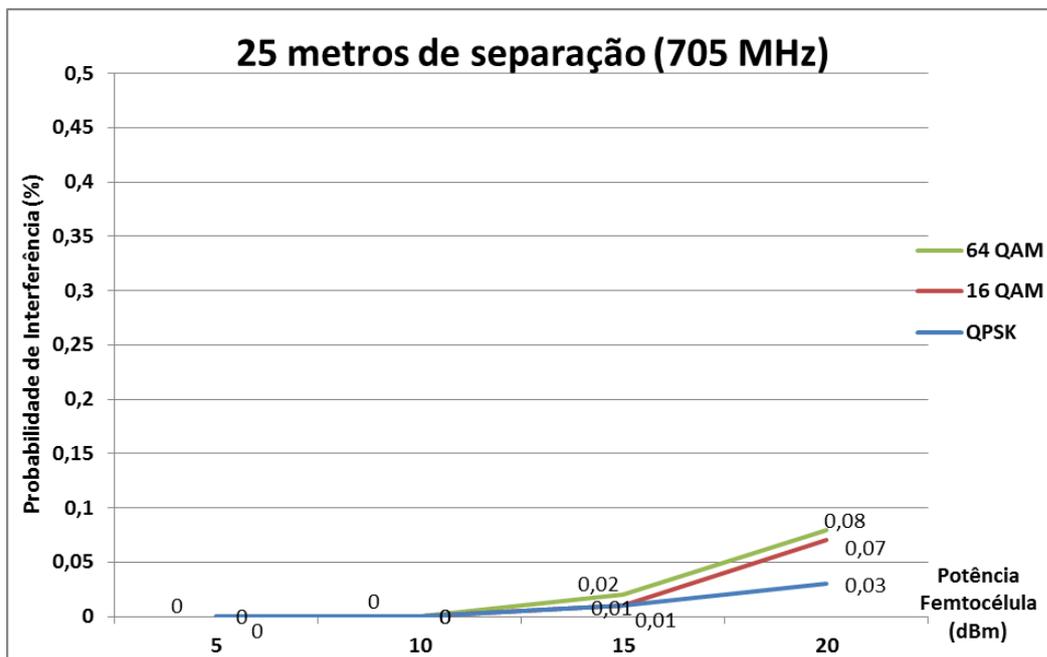


Fig. 83 Probabilidade de Interferência a 25 metros de separação (705 MHz)

Nas figuras apresentadas anteriormente é possível observar que para distâncias de separação a partir de 18 metros, independentemente da modulação utilizada, a probabilidade de interferência de canal adjacente é menor que 1%. A

25 metros de separação, a probabilidade de interferência de canal adjacente é praticamente igual a 0%.

No Capítulo 7, será apresentada uma análise e interpretação mais detalhada comparando-se estes resultados com os obtidos no cenário de medição a fim de determinar os limiares de proteção que garantem a convivência do SBTVD e do sistema móvel LTE Femtocell na banda de frequência de 700 MHz.