

4

Simulação da localização em microcélulas

Neste capítulo é apresentado o ambiente de simulações desenvolvido, composto pelo programa de traçado de raios em ambientes 3D e o programa desenvolvido para estimar a posição do móvel utilizando os métodos de linearização por série de Taylor e Chan. Em seguida, são apresentados os cenários escolhidos para estimar as medidas de TDoA e as configurações de fontes utilizadas para representar as situações LOS e NLOS. A eficiência dos métodos é avaliada através das principais medidas de desempenho (RMS, CEP e GDOP) para diferentes situações em termos de número de ERB's e TDoA's empregados e da altura da antena transmissora.

4.1

Geração das estimativas de TDoA

Para a geração das estimativas de TdoA foi utilizado o software “Cobertura de Microcélulas” desenvolvido no CETUC no âmbito de uma dissertação de mestrado [47]. Esta é uma ferramenta computacional para o cálculo de campos e perfis de retardo em ambientes modelados geometricamente na forma de sólidos multifacetados.

O programa permite localizar fontes em cenários visualizados em três dimensões, carregados a partir de arquivos em formato dxf. É utilizada a técnica de lançamento de raios e são consideradas múltiplas reflexões, em princípio sem limitação de número, e até duas difrações. Como saída o programa fornece a potência de recepção e o perfil de retardo dos raios recebidos em pontos do cenário.

Os algoritmos implementados neste programa são modelos determinísticos baseados em técnicas assintóticas que, juntamente com a técnica de traçado de raios, permitem o cálculo do nível de sinal e dos comprimentos de percurso. Os métodos assintóticos utilizados são a Teoria Geométrica da Difração (GTD) e a Teoria Uniforme da Difração (UTD). Estes métodos assumem que todas as ondas se comportam como ondas planas locais, o que é válido na região de campo distante, uma solução realista considerando as faixas de frequência e distâncias envolvidas. Isto permite utilizar a técnica de traçado de raios onde são

implementados os efeitos de reflexão, transmissão e difração. Assim sendo, estes modelos geram uma previsão que sempre considera as características específicas do ambiente em estudo. Cabe enfatizar que em todos os casos a modelagem é aproximada, dado que somente podem ser executados cálculos exatos em ambientes idealizados (obstáculos de formas regulares e propriedades eletromagnéticas conhecidas e uniformes sobre todo o cenário), mas o grau de aproximação que se consegue é, em geral, melhor que o obtido com métodos empíricos.

Como primeiro passo, o programa faz a abertura e leitura dos arquivos dxf que fornecem a representação do cenário tridimensional. A seguir o programa apresenta a janela de diálogo para inserção dados correspondentes ao transmissor:

- As coordenadas (X,Y,Z) correspondentes à localização da antena transmissora no sistema fixo ao cenário no sistema de coordenadas globais.
- Os parâmetros característicos de uma fonte transmissora isotrópica: polarização (horizontal ou vertical), frequência em MHz, potencia em Watts, e o número de reflexões a considerar nos cálculos.

Na janela de diálogo correspondente à estação receptora escolhe-se

- A localização do receptor em algum ponto no espaço de coordenadas (x,y,z)
- O tamanho e número de subdivisões da área de recepção.

As figuras 4.1 e 4.2 mostram as janelas de diálogo para inserir dados correspondentes ao transmissor e ao receptor.

Transmissor

Localização

X [m] 0.0

Y [m] -100

Z [m] 20

Parâmetros Característicos

Freq.(MHz) 1000

Potencia (Watts) 1

Numero reflexões 1

Polarização Horizontal Vertical

OK Cancel

Figura 4.1 Entrada de dados do transmissor

Recepção

Fonte Receptora

Pontual

X 0

Y 100

Z 20

Area

Largura 8

Altura 8

Num.div 1

Ok Cancel

Figura 4.2 Entrada de dados do receptor

O programa gera como saída arquivos e gráficos com a variação da potência recebida em função da posição e perfis de retardo que podem ser salvos em arquivos texto para alimentar os programas de estimativa de localização. A figura 4.3 mostra um exemplo de perfil de retardos relativos obtido com o programa.

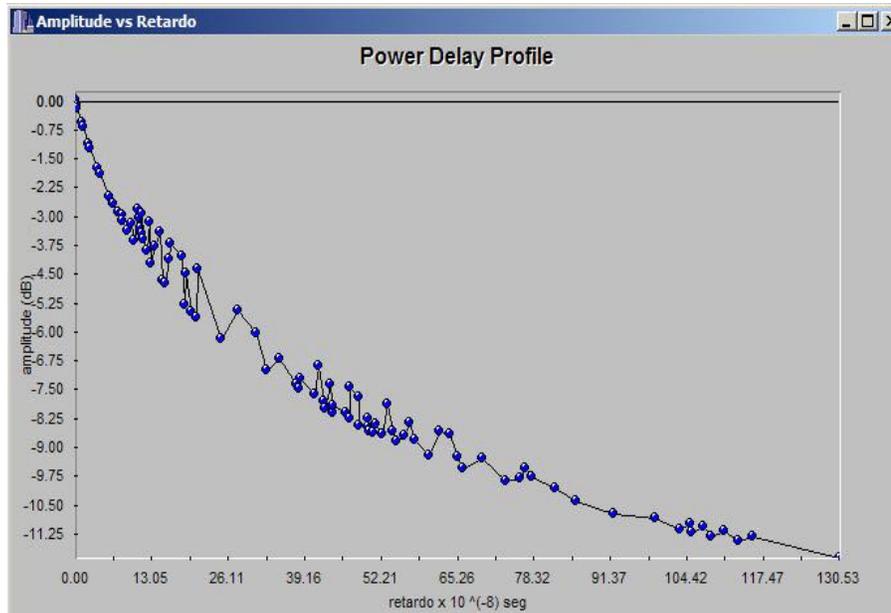


Figura 4.3 Envoltória de perfil de retardos relativos obtidos com traçado de raios

O programa fornece um grande número de retardos, em função das combinações de múltiplas difrações e reflexões. Além disto, em certas situações os retardos apresentam-se em *clusters*, já que em cenários tridimensionais a adaptação da esfera de recepção apresenta limitações. Assim, foi necessário interpretar os dados de saída e selecionar a componente mais relevante para utilização nos programas de estimativa de posição do móvel.

4.2

Implementação dos métodos TDoA

Para estimar a posição do móvel utilizando os métodos de Taylor e o método de Chan, descritos no capítulo 2, foram desenvolvidos programas de computador utilizando o software MATLAB.

No caso do método de Taylor o programa tem como dados de entrada a posição das ERBs, os valores iniciais necessários para a iteração e os retardos obtidos do programa de traçado de raios. A saída é a posição estimada do móvel em coordenadas cartesianas (x,y).

Apenas a título de exemplo, a figura 4.4 indica um exemplo de saída do programa para o método de Taylor no ambiente tipo cruzamento, situação NLOS, utilizando 4 ERBs, com a fonte posicionada ao longo do eixo y.

```

xreal  yreal  xTaylor  yTaylor
0 -600.0000  -2.4600  -561.0800
0 -500.0000  -1.6900  -487.6900
0 -400.0000  -6.6900  -471.8800
0 -300.0000  -4.2800  -371.5100
0 -200.0000   4.2500  -261.9000
0 -100.0000  -1.9500  -41.6300
0      0      -1.6500  -8.4300
0  100.0000   2.5100   88.4700
0  200.0000  -6.3200  145.7000
0  300.0000   0.2600  456.4200
0  400.0000  -4.3000  550.9000
0  500.0000   2.5000  660.2700

```

```
>>
```

Figura 4.4 Saída do programa para estimativa da posição do móvel

No caso do método de Chan foram desenvolvidos dois programas, um para 3 ERBs e outro para 4 ou mais ERBs, uma vez que o método apresenta formulações distintas para cada um destes casos.

Para avaliar o desempenho dos métodos a partir das posições estimadas dos móveis foi escrito um outro programa para o cálculo das medidas de desempenho. As entradas deste programa são a posição real da fonte e as posições estimadas por cada método utilizado. As saídas do programa são o erro médio quadrático (RMS), a probabilidade de erro circular (CEP) e a diluição de precisão geométrica (GDOP).

4.3

Cenários das Simulações

Nesta seção é feita uma descrição dos cenários utilizados para as simulações realizadas, incluindo o posicionamento das estações rádio base (ERBs).

4.3.1

Cenários utilizados

Para gerar as estimativas de retardo entre o móvel e as ERBs, utilizando o programa de traçado de raios, foram considerados dois ambientes, o corredor

e o cruzamento. Foram simulados cenários LOS e NLOS com duas reflexões e duas difrações.

As figuras 4.5 e 4.6 ilustram os ambientes utilizados. Estes ambientes podem ser considerados componentes elementares de um cenário exterior formado por quarteirões regulares ou de um cenário interior no qual os tetos sejam elevados ou pouco refletivos (centros de convenções ou *shopping centers*).

Como o programa de traçado de raios, em sua versão atual, permite a utilização de uma única fonte por simulação, o processo usado foi o de utilizar a fonte nas posições do terminal do usuário, deslocando-a a intervalos regulares ao longo dos corredores em ambos os ambientes, e estimar os retardos observados nas diversas posições das ERBs. Isto é equivalente a utilizar várias ERB's transmissoras e calcular seus retardos de seus sinais no terminal do usuário.

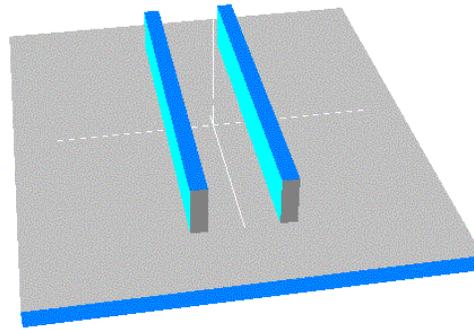


Figura 4.5: Ambiente corredor

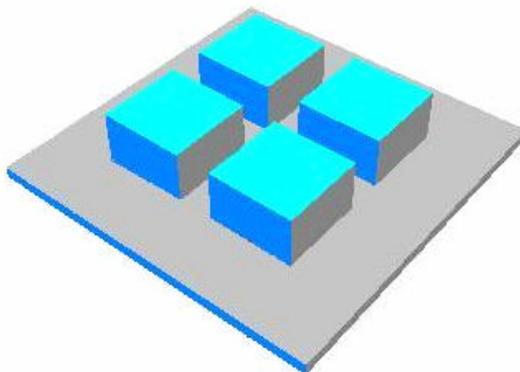


Figura 4.6: Ambiente cruzamento

4.3.2

Posicionamento das ERBs

O primeiro ambiente utilizado para a simulação foi o corredor. Foram inicialmente posicionadas 3 ERBs, cujas coordenadas em metros são $ERB1 = (-200,0)$, $ERB2 = (200,600)$, $ERB3 = (200,-600)$. A seguir, as simulações foram repetidas com a inclusão de 4 ERBs, cujas posições são $ERB1 = (-200,600)$, $ERB2 = (200,600)$, $ERB3 = (-200,-600)$, $ERB4 = (200,-600)$ e finalmente foram colocadas 6 ERBs, cujas posições são $ERB1 = (-200,600)$, $ERB2 = (200,600)$, $ERB3 = (-200,0)$, $ERB4 = (200,0)$, $ERB5 = (-200,-600)$, $ERB6 = (200,-600)$. A altura das ERBs foi fixada em 30 metros e a altura dos móveis em 1 metro.

Para cada conjunto de ERBs, a ERB1 foi tomada como referência. A figura 4.7 mostra o posicionamento das ERBs no ambiente corredor.

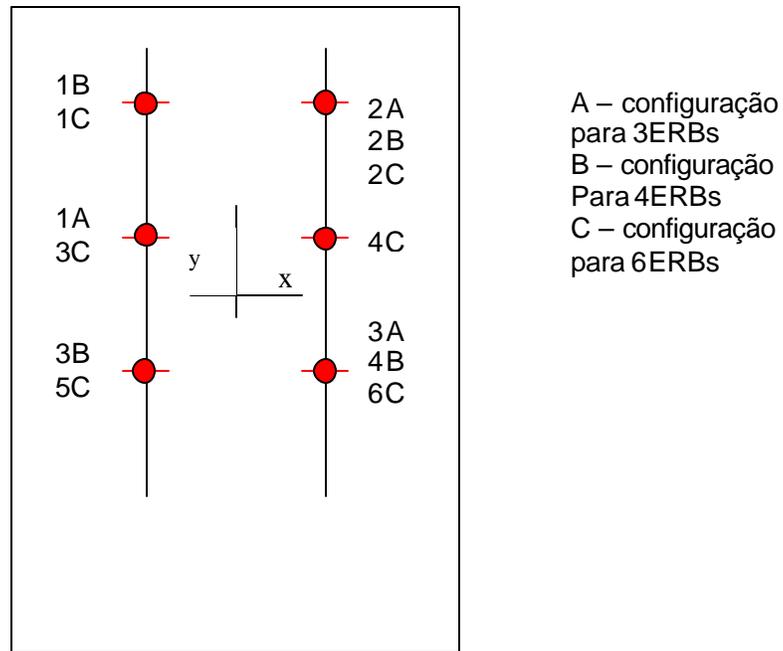


Figura 4.7 Disposição das ERBs no ambiente corredor

O segundo ambiente utilizado para simulação foi o cruzamento onde, para simulação da localização em visibilidade, foram posicionadas 3 ERBs, cujas coordenadas estão em metros e são: $ERB1 = (-100,100)$, $ERB2 = (100,-100)$, $ERB3 = (300,-100)$. A seguir foi incluída mais uma ERB na posição $ERB4 = (300,100)$ e finalmente foram incluídas mais 2 ERBs, cujas posições são $ERB5 = (-100,-300)$ e $ERB6 = (100,300)$.

Para cada conjunto de ERBs, a ERB1 foi tomada como referência. A figura 4.8 mostra o posicionamento das ERBs no ambiente cruzamento para simulação da localização em visibilidade.

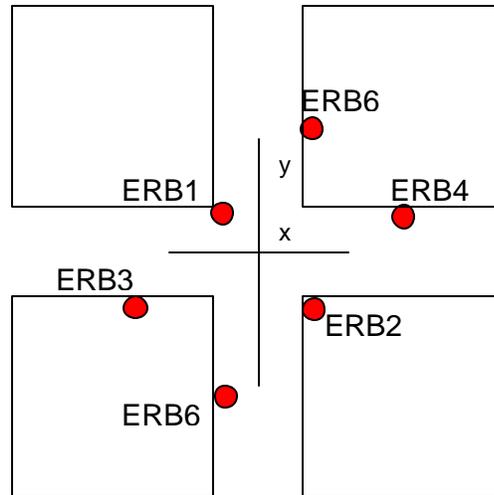


Figura 4.8 Disposição das ERBs no ambiente cruzamento

Para simulação da localização sem visibilidade, neste mesmo ambiente, foram posicionadas 4 ERBs, cujas coordenadas em metros são: ERB1 = (-300,100), ERB2 = (-600,-100), ERB3 = (600,-100) e ERB4 = (300,100). A figura 4.9 mostra a posição das ERB's.

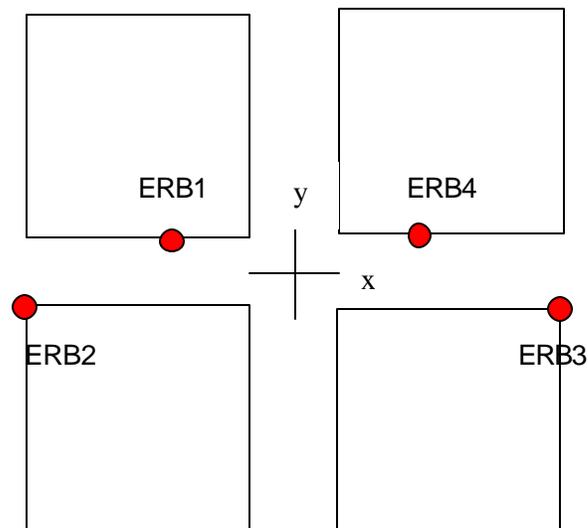


Figura 4.9. Disposição das ERBs para simulação no ambiente cruzamento – situação LOS/NLOS

4.3.3

Posicionamento da fonte

Para o primeiro ambiente utilizado, o corredor, foram colocadas várias fontes situadas em $x = 0$ e y variando de -1000 metros a 1000 metros.

Para traçar os gráficos das medidas de desempenho, o eixo y foi dividido em 10 regiões de 200 metros, onde foram posicionadas as fontes: região A, com a fonte entre -1000 metros e -800 metros, região B com a fonte entre -800 metros e -600 metros, e assim sucessivamente até a região J com a fonte entre 800 metros e 1000 metros.

Para o segundo ambiente utilizado, o cruzamento em situação de visibilidade, foram colocadas várias fontes situadas em $y = 0$ e x variando de -600 metros a 600 metros. Para traçar os gráficos das medidas de desempenho, o eixo x foi dividido em 6 regiões, onde foram posicionadas as fontes: a região A, fonte entre -600 metros e -400 metros, região B fonte entre -400 metros e -200 metros e assim sucessivamente até a região F fonte entre 400 metros e 600 metros.

Para o terceiro ambiente, o cruzamento em situação sem visibilidade, a fonte foi posicionada ao longo dos eixos $x = 0$ e $y = 0$ e cada um desses eixos foi dividido em 6 regiões, de forma análoga ao caso anterior.

4.4

Resultados das simulações

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos através de simulações utilizando os cenários descritos acima. Os dados resultantes das simulações foram agrupados em gráficos que mostram as principais medidas de desempenho para os dois métodos escolhidos. As posições da fonte foram utilizadas como informação à priori para resolver ambigüidades nas estimativas efetuadas pelo método de Chan e também como aproximação inicial para o método de Linearização por série de Taylor. Por esta razão, na prática, o desempenho obtido com estes métodos sofreria uma degradação em relação ao desempenho apresentado nestas simulações, desde que informações a priori não seriam simples de serem obtidas.

Os resultados são apresentados na forma de gráficos onde o eixo horizontal indica a coordenada, ao longo do eixo x ou y conforme o caso, do

ponto central da região considerada. O erro foi calculado para com base em estimativas para um mínimo de 10 pontos em cada região.

4.4.1

Simulações no ambiente corredor

Nesta seção é analisado o desempenho dos métodos de localização no ambiente corredor.

Erro RMS

Como principal medida de erro foi utilizado o erro RMS, que é a raiz quadrada do erro médio quadrático ou MSE, dado na equação (2.4.2). O MSE é igual à variância do erro somada com o quadrado da média do erro, também chamada polarização. O erro RMS foi escolhido por ter dimensão de distância, sendo o mais apropriado para avaliação de sistemas para os quais uma distância mínima à fonte a ser localizada é imposta como requisito de desempenho, como é o caso de sistemas de localização utilizados para E-901.

As figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam uma comparação do erro RMS dos dois algoritmos apresentados para estimativas de posição das fontes para cenário corredor em ambiente LOS com 3, 4 e 6 ERB's, respectivamente. As figuras 4.13 e 4.14 apresentam os mesmos resultados permitindo comparar, para um mesmo algoritmo, o desempenho dos métodos com diferentes números de ERB's.

À medida que a fonte caminha ao longo do corredor o erro RMS varia de acordo com a maior ou menor proximidade às ERBs utilizadas. Na situação com apenas 3 ERBs os erros são mais elevados com a fonte no início do corredor. Quando a fonte encontra-se na região entre as ERBs as variações do erro são pequenas e mais associadas às variações estatísticas do que à geometria propriamente dita. Com 4 ERBs é possível observar uma melhora da precisão em relação à situação com 3 ERBs. O aumento do número de ERBs para 6, se não gera um aumento significativo da precisão, permite obter uma maior estabilidade dos resultados, com o erro RMS apresentando-se consistentemente abaixo dos 20 metros.

Ambiente Corredor – Erro RMS – Número de ERBs

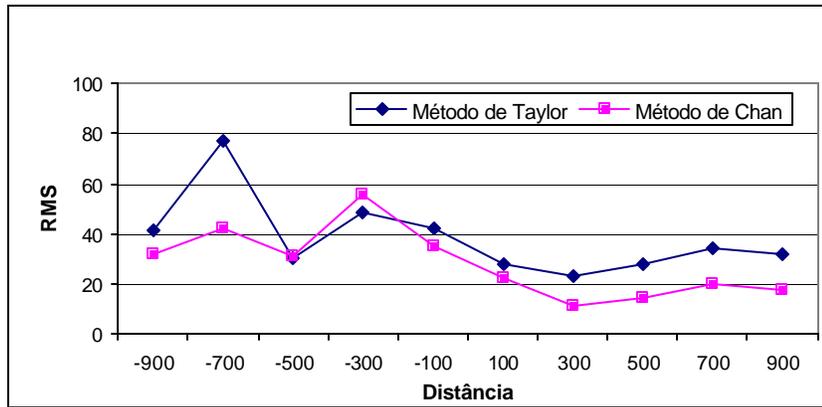


Figura 4.10: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

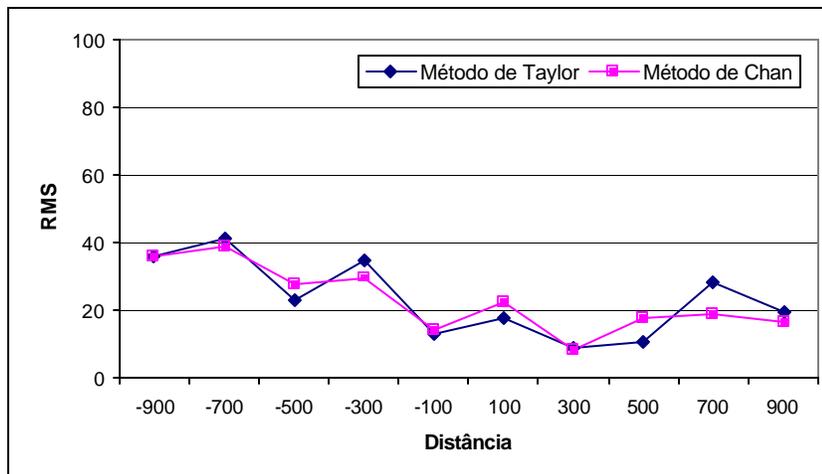


Figura 4.11: Erro RMS em função da distância (4 ERBs)

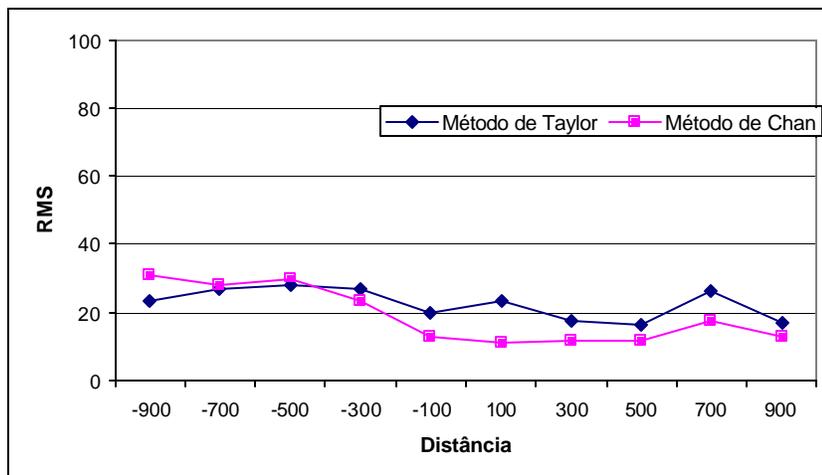
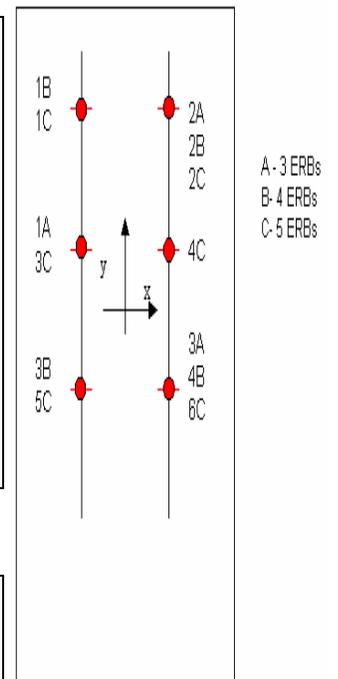


Figura 4.12: Erro RMS em função da distância (6 ERBs)



Ambiente Corredor – Erro RMS – Métodos de Taylor e Chan

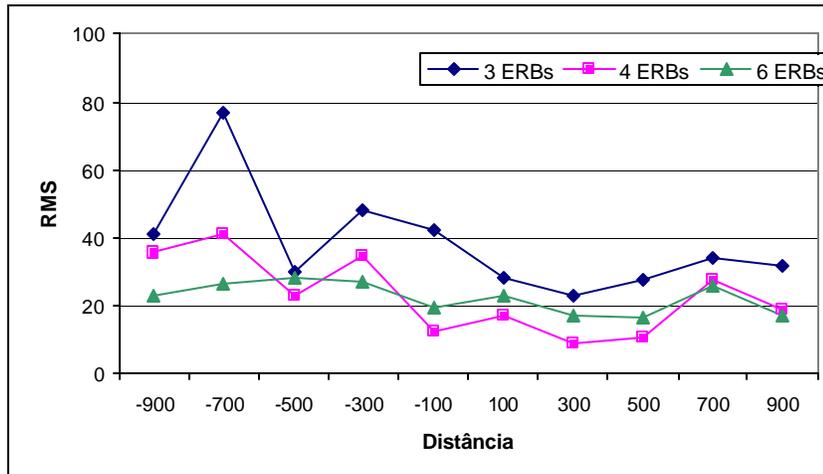


Figura 4.13: Erro RMS em função da distância (método de Taylor)

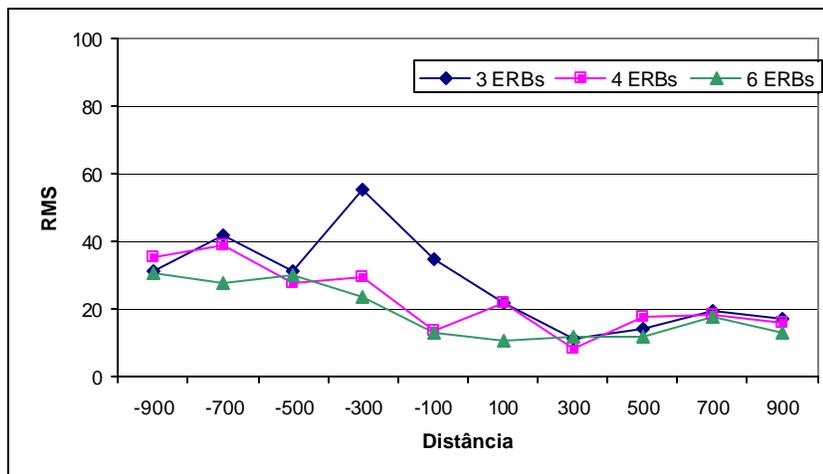
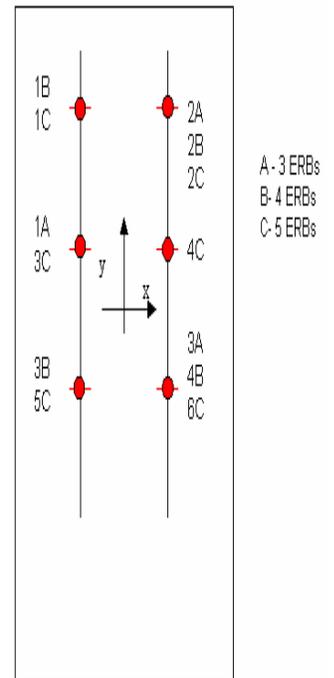


Figura 4.14: Erro RMS em função da distância (método de Chan)



Além do erro RMS, foram consideradas mais duas medidas de desempenho, a probabilidade de erro circular e a diluição geométrica.

CEP

A Probabilidade de Erro Circular (CEP) é um parâmetro também importante na avaliação de desempenho de sistemas, pois mede a dispersão das estimativas em relação a sua média. A CEP é definida como o raio de um círculo que contém aproximadamente metade das realizações de um grande número de estimativas, com centro na média dessas estimativas. A CEP está intimamente relacionada à variância do estimador e é calculada pela equação 2.4.3.

As figuras 4.15, 4.16 e 4.17 mostram a CEP calculadas no ambiente corredor. O comportamento geral é semelhante ao observado para o erro RMS, com alguma melhoria de desempenho observada com o aumento do número de ERBs. Neste caso, o método de Chan apresenta um desempenho mais estável e ligeiramente melhor, na média, do que o método de Taylor.

GDOP

A Degradação Geométrica da Precisão (GDOP) mede a relação entre o erro RMS e o desvio padrão das medidas de diferentes distâncias (equação 2.4.4). Um valor de GDOP maior que 2 provoca erros na posição de mais que o dobro do desvio padrão do ruído, o que não é desejável. Contudo, para um dado sistema de localização o valor ideal de GDOP dependerá dos requisitos de desempenho que se queiram atingir, dado que se tenha o conhecimento a priori sobre o desvio padrão nas medidas de TDoA's. As figuras 4.18, 4.19 e 4.20 mostram os GDOP calculados para o ambiente corredor.

Ambiente Corredor – CEP

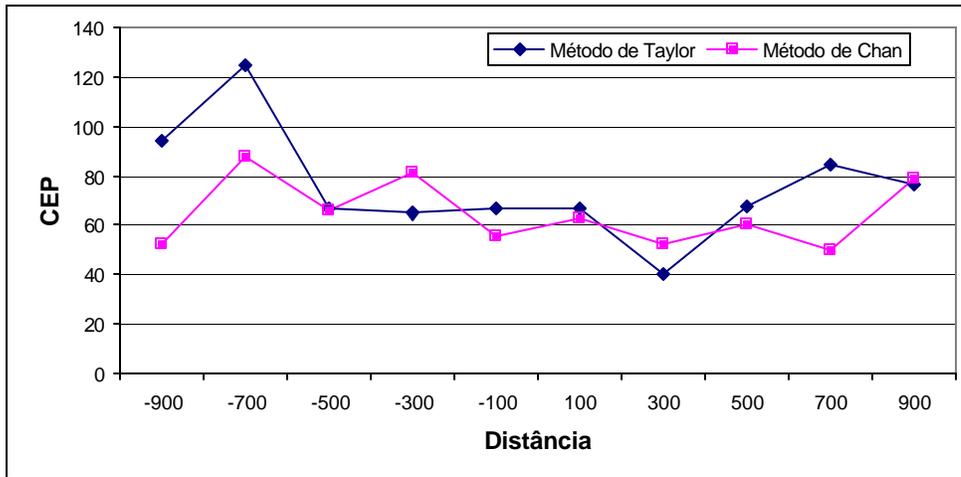


Figura 4.15: CEP em função da distância (3 ERBs)

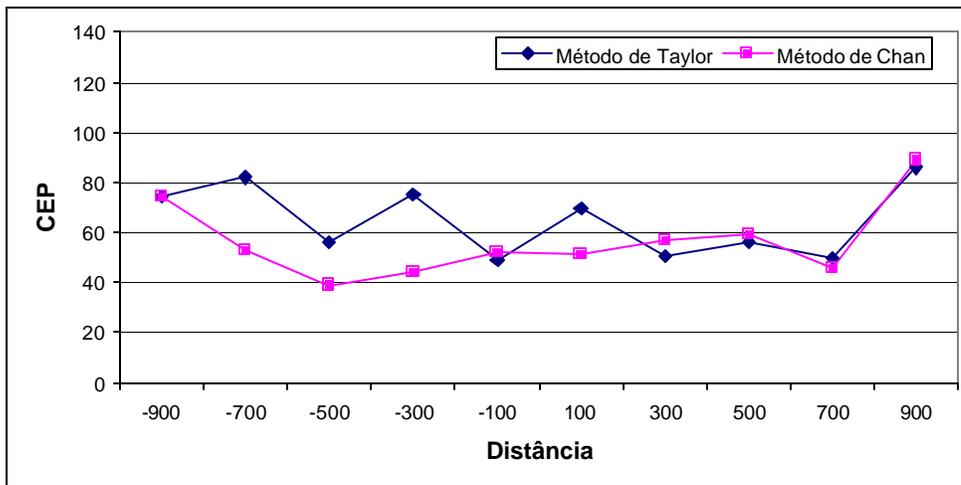


Figura 4.16 CEP em função da distância (4 ERBs)

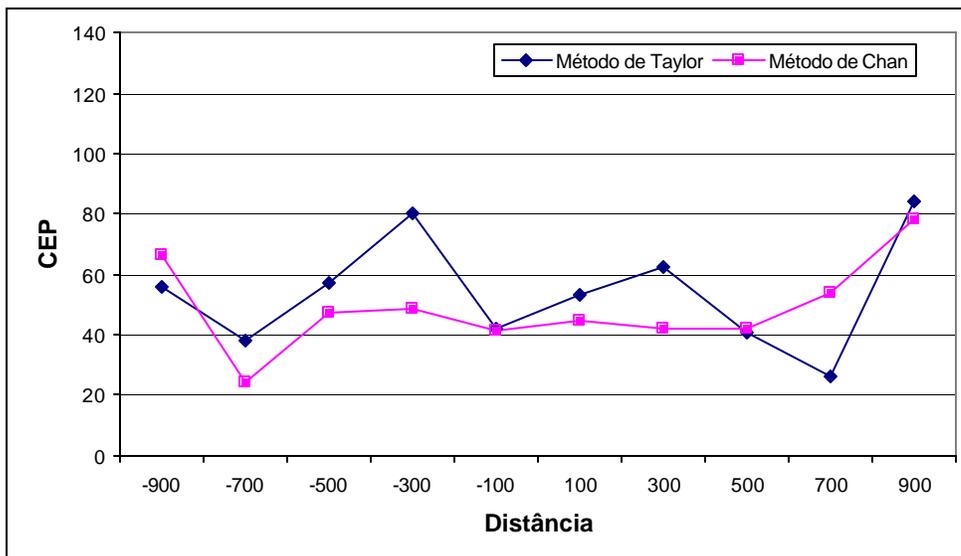


Figura 4.17: CEP em função da distância (6 ERBs)

Ambiente Corredor – GDOP

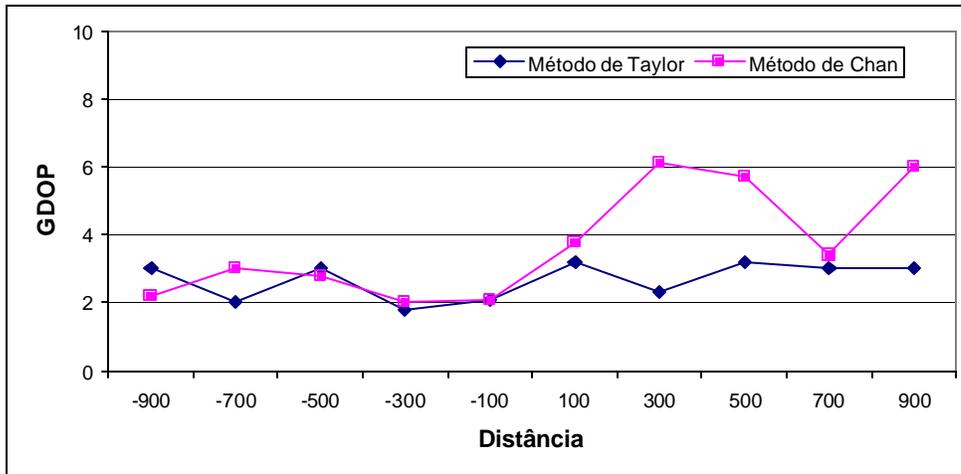


Figura 4.18: GDOP em função da distância (3 ERBs)

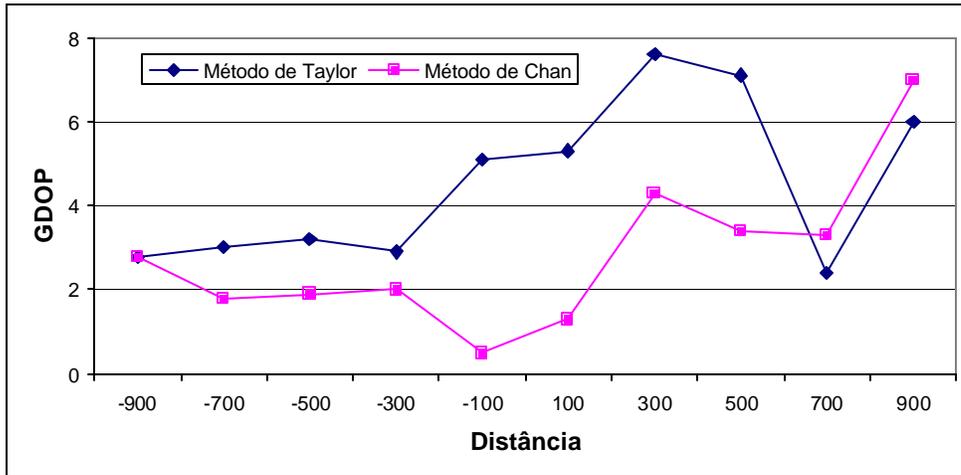


Figura 4.19: GDOP em função da distância (4 ERBs)

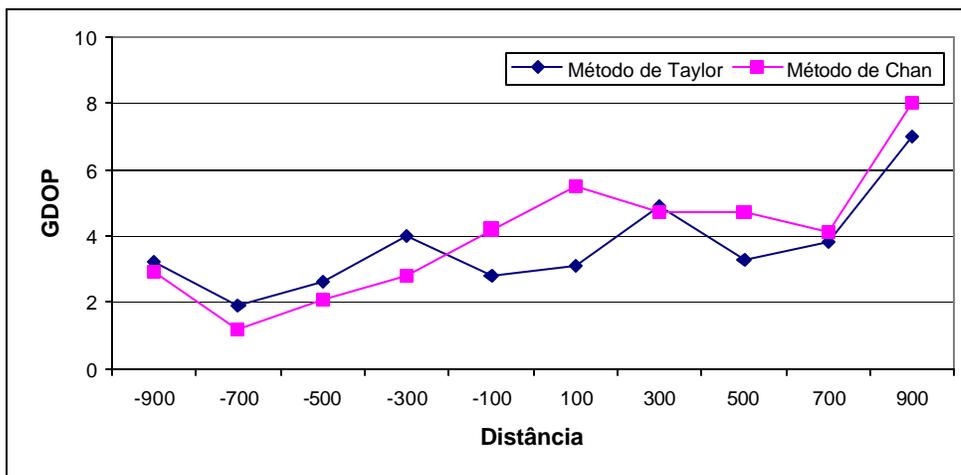


Figura 4.20: GDOP em função da distância (6 ERBs)

4.4.2

Simulações no ambiente cruzamento - situação LOS

Nesta seção é analisado o desempenho dos métodos de localização no ambiente cruzamento, na configuração em que, qualquer que seja a posição da fonte, existe visibilidade em relação a uma ou mais ERBs.

As figuras 4.21, 4.22 e 4.23 mostram a o erro RMS dos dois algoritmos apresentados para estimativas de posição de fontes para cenário cruzamento – LOS.

As figura s 4.24 e 4.25, mostram o erro RMS de cada algoritmo utilizado nas estimativas de posição das fontes neste mesmo cenário, fazendo uma comparação dos resultados quando se utilizam 3, 4 e 6 ERBs.

Neste ambiente, as diferenças obtidas com a variação do número de ERBs são menos pronunciadas. Os erros estão sempre entre 10 e 50 metros, com ligeira melhoria no caso de 6 ERBs. O método de Chan apresenta, mais uma vez, resultados ligeiramente superiores ao método de linearização por série de Taylor, com erros no intervalo entre 10 e 30 metros.

Os gráficos relativos ao CEP e ao GDOP não são apresentados aqui, por não acrescentarem informação adicional significativa, mas estão incluídos a título de informação no anexo 2.

Ambiente Cruzamento – situação LOS – Erro RMS

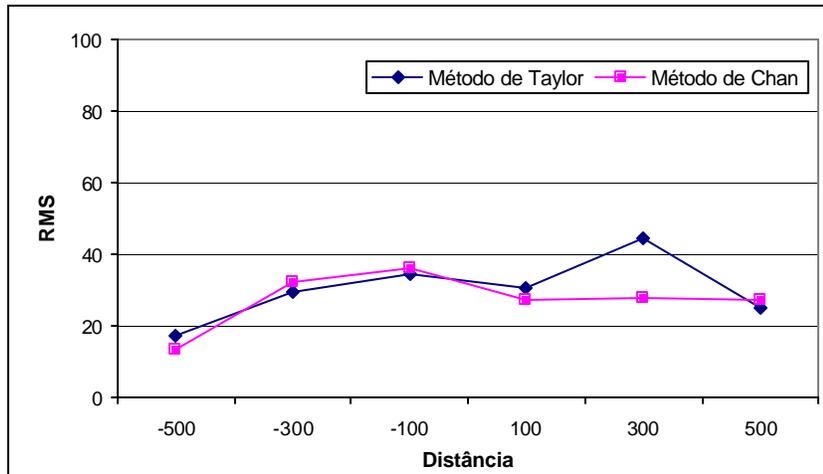


Figura 4.21: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

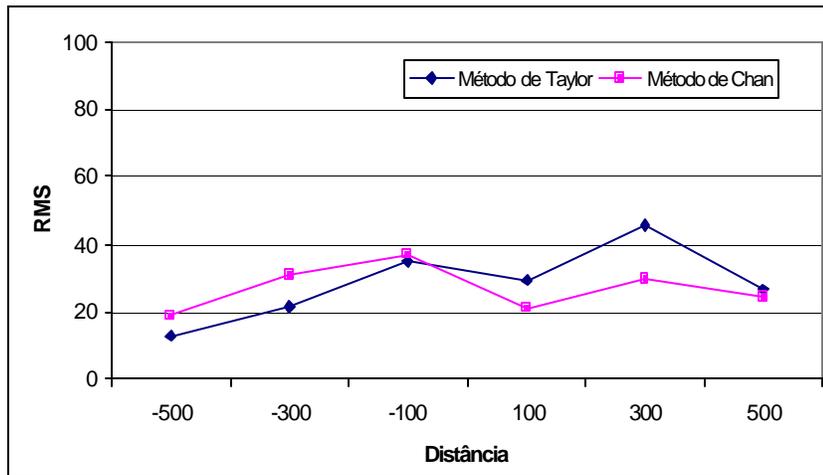


Figura 4.22: Erro RMS em função da distância (4ERBs)

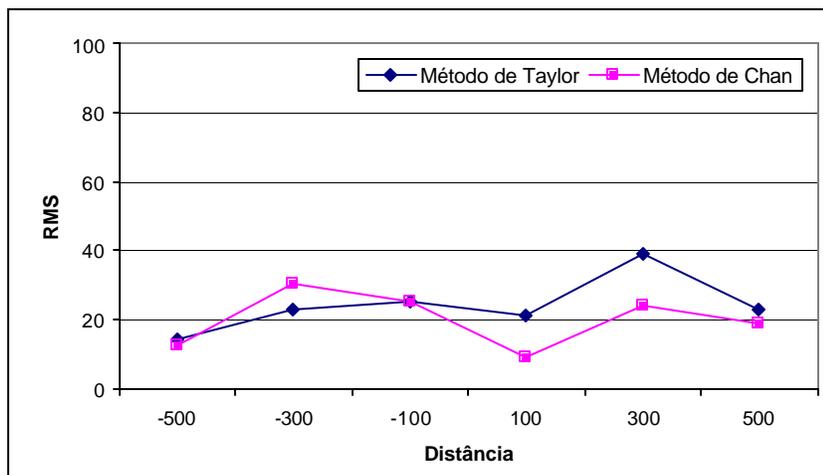
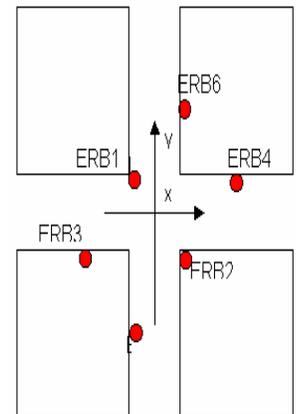


Figura 4.23: Erro RMS em função da distância (6 ERBs)



Ambiente Cruzamento – situação LOS – Erro RMS

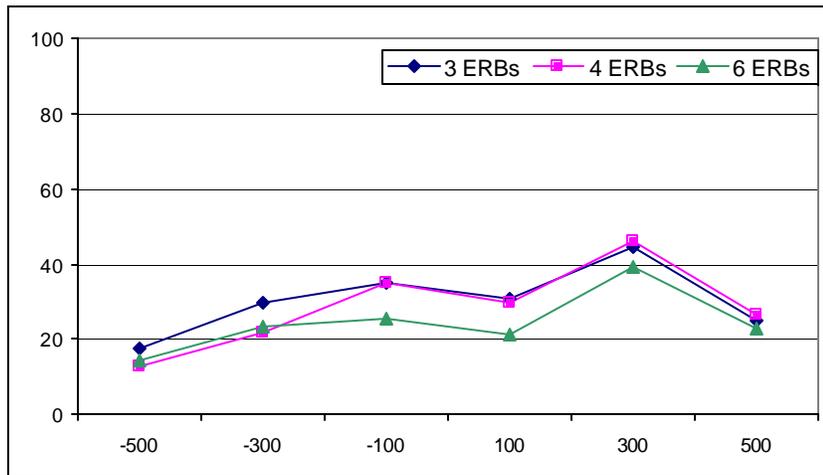


Figura 4.24: Erro RMS em função da distância (método de Taylor)

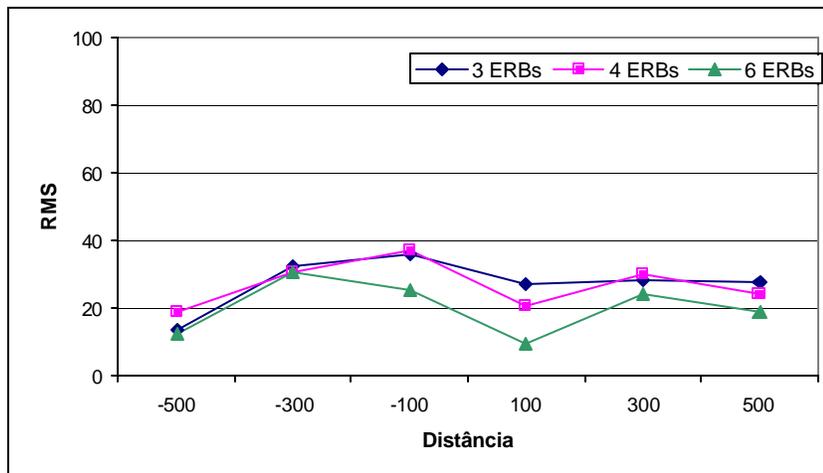
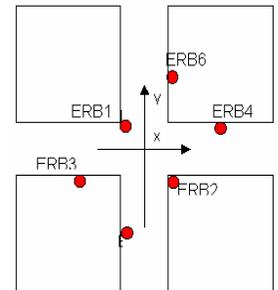


Figura 4.25: Erro RMS em função da distância (método de Chan)



4.4.3

Simulações no ambiente cruzamento – situações LOS e NLOS

Nesta seção é analisado o desempenho dos métodos de localização no ambiente cruzamento, na configuração em que, para determinadas posições da fonte, não há visibilidade em relação a nenhuma das ERBs.

Para comparar o desempenho dos métodos em situações LOS e NLOS, foi construído um cenário no qual, quando a fonte se desloca ao longo do eixo y ($x=0$), só há visibilidade em relação a uma ou mais ERBs nas regiões em torno da origem. Já quando a fonte se desloca ao longo do eixo x ($y=0$), existe sempre visibilidade em relação a todas as ERBs.

A figura 4.26 mostra o erro RMS obtido com os dois algoritmos para estimativas de posição de fontes ao longo do eixo y, empregando as ERBs 1, 2 e 3. Neste caso só existe visibilidade para todas as ERBs quando a fonte se encontra próxima da origem, explicitamente para y entre -100 e +100 metros. Observa-se que o erro atinge o mínimo na região entre 0 e 200 metros e o máximo na região média inferior do corredor, que corresponde à pior situação para este cenário, pois o sinal chega às ERBs 3 e 4 por reflexão dupla. É interessante notar que, para pontos ainda mais abaixo no corredor há uma recuperação do erro. Isto se deve, possivelmente, ao fato de que nesta região os sinais chegam a todas as ERBs por reflexão dupla, havendo uma certa compensação nas diferenças de retardo.

A figura 4.27 mostra os erros RMS obtidos quando a fonte se desloca ao longo do eixo x empregando as ERBs 1, 2 e 3. Neste caso, existe sempre visibilidade para todas as ERBs. Os erros são menores e mais uniformes ao longo do corredor. Em particular, na região entre 0 e 200 metros, os valores são bem próximos dos obtidos no caso anterior.

As figuras 4.28 e 4.29, mostram resultados análogos referentes às estimativas utilizando as 4 ERBs. Neste caso os erros são um pouco menores, mas o comportamento geral dos gráficos é o mesmo.

As figuras 4.30 e 4.31 mostram novamente os resultados obtidos pelo método de Taylor para deslocamento da fonte ao longo dos eixos y e x, respectivamente, mas permitindo agora comparar o efeito do uso de 3 ou 4 ERBs. Resultados análogos para o método de Chan são mostrados nas figuras 4.32 e 4.33.

Ambiente Cruzamento – situações LOS/NLOS – 3 ERBs

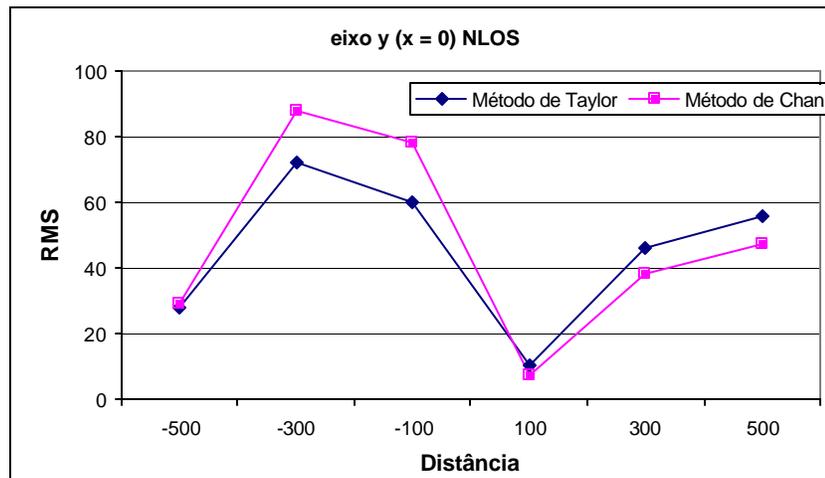


Figura 4.26: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

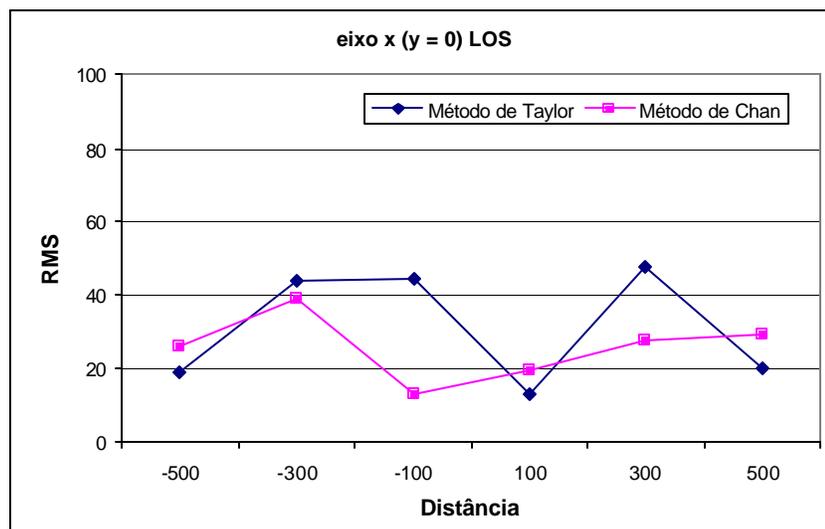
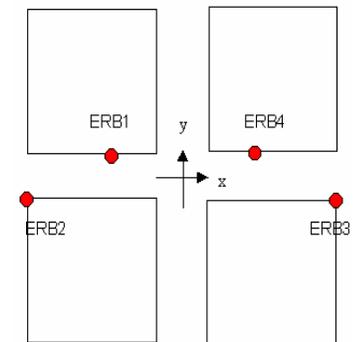


Figura 4.27: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

Ambiente Cruzamento – situações LOS/NLOS – 4 ERBs

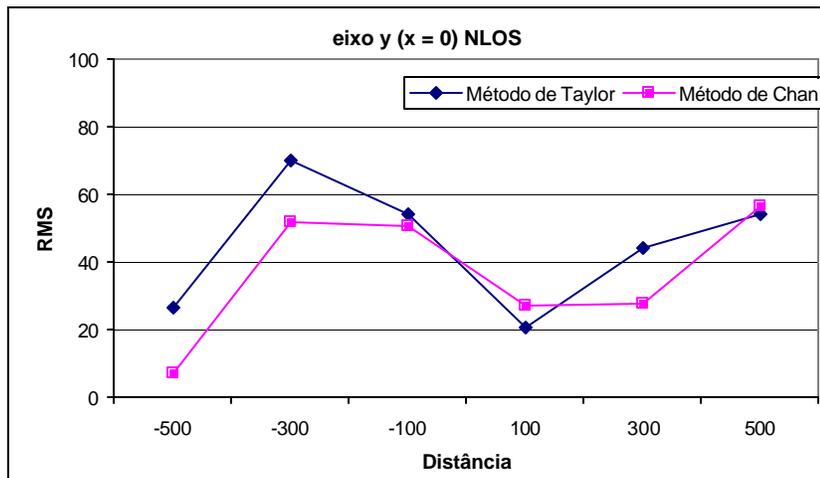


Figura 4.28: Erro RMS em função da distância (4 ERBs)

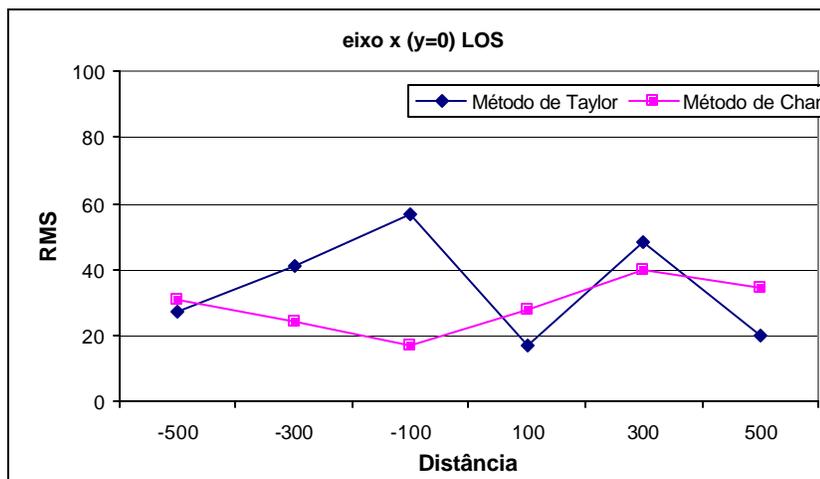
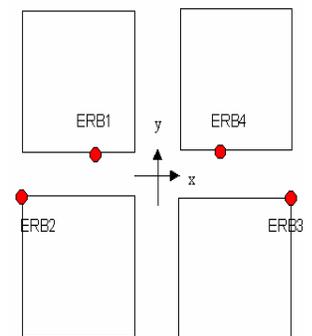


Figura 4.29: Erro RMS em função da distância (4 ERBs)

Ambiente Cruzamento – situações LOS/NLOS - Taylor

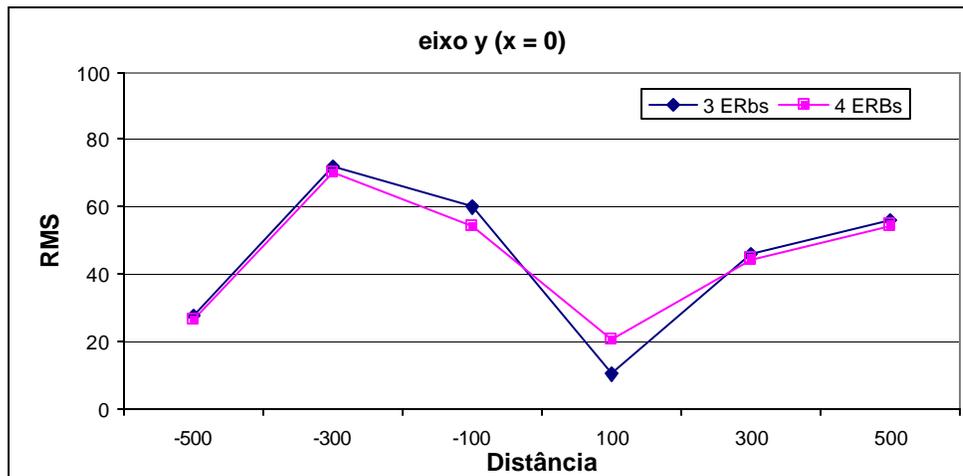


Figura 4.30: Erro RMS em função da distância (método de Taylor)

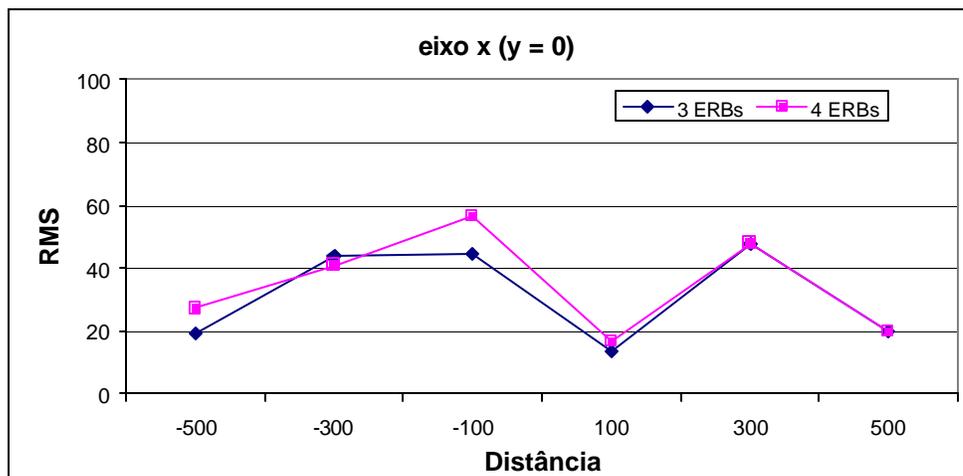


Figura 4.31: Erro RMS em função da distância (método de Taylor)

Ambiente Cruzamento – situações LOS/NLOS - Chan

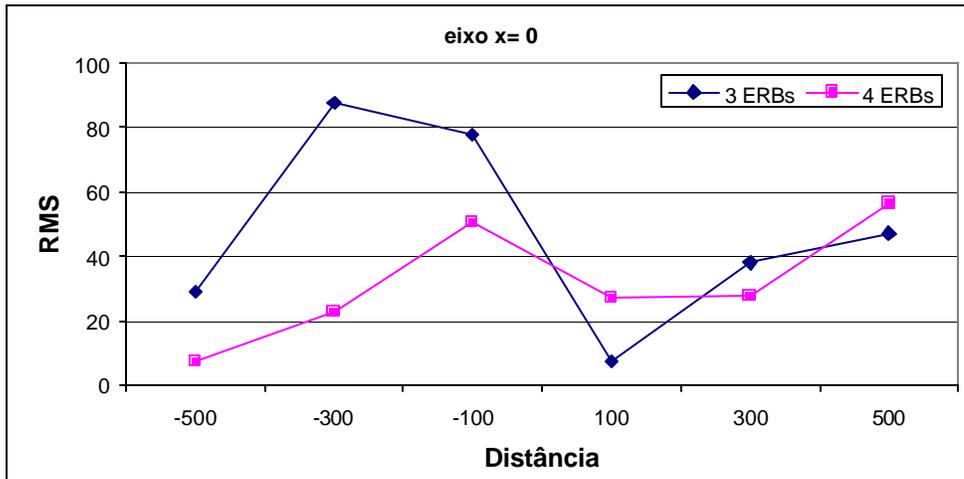


Figura 4.32: Erro RMS em função da distância (método de Chan)

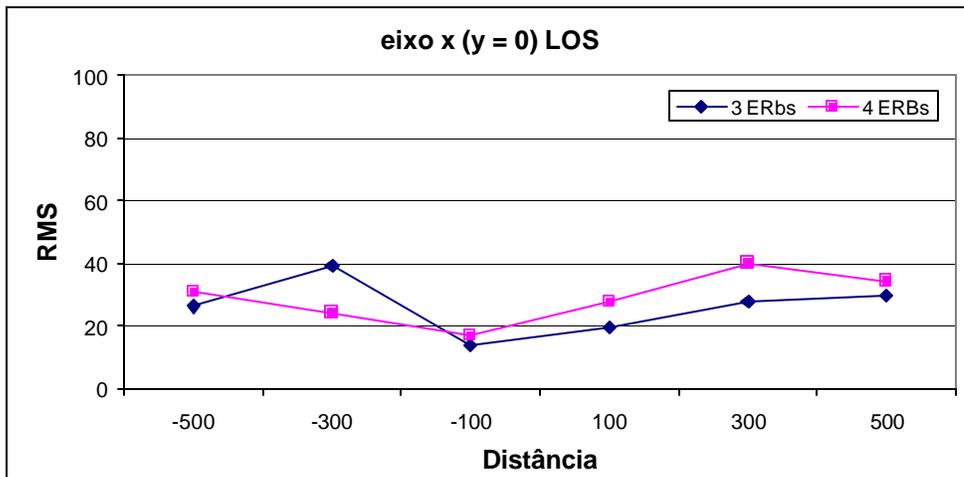


Figura 4.33: Erro RMS em função da distância (método de Chan)

Para permitir uma melhor comparação entre os casos LOS e NLOS, os erros relativos a cada um destes casos foram plotados nas figuras 4.34 e 4.35 para o método de Taylor com 3 e 4 ERBs, respectivamente, e nas figuras 4.36 e 4.37 para o método de Chan, também com 3 e 4 ERBs, respectivamente.

Ao analisar estas figuras é importante ter em mente que os gráficos para cada situação (LOS e NLOS) referem-se a pontos de localização das fontes distribuídos ao longo de eixos distintos, ou seja, os valores de erro, mesmo quando associados a um mesmo intervalo de distâncias não correspondem nem aos mesmos pontos nem a mesma região. Permitem apenas observar o quanto o desempenho do método é degradado quando se afasta da região de visibilidade. Enquanto que, na situação LOS, os erros RMS se mantêm inferiores a 40 metros com 4 ERBs e a 45 metros com 3 ERBs, na situação NLOS chegou-se a máximos de 70 metros com 4 ERBs e 88 metros com 3 ERBs. O menor impacto da condição de não visibilidade foi observado para o método de Chan com 4 ERBs.

Ambiente Cruzamento– LOS versus NLOS – Taylor

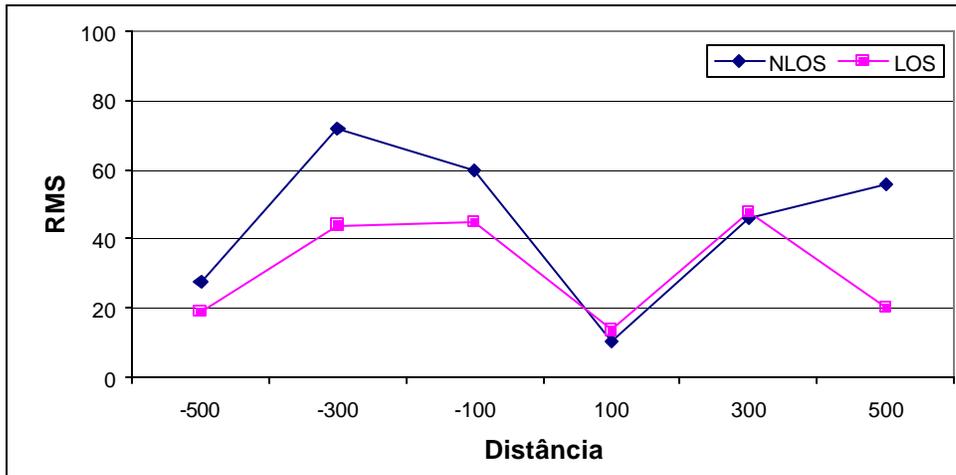


Figura 4.34: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

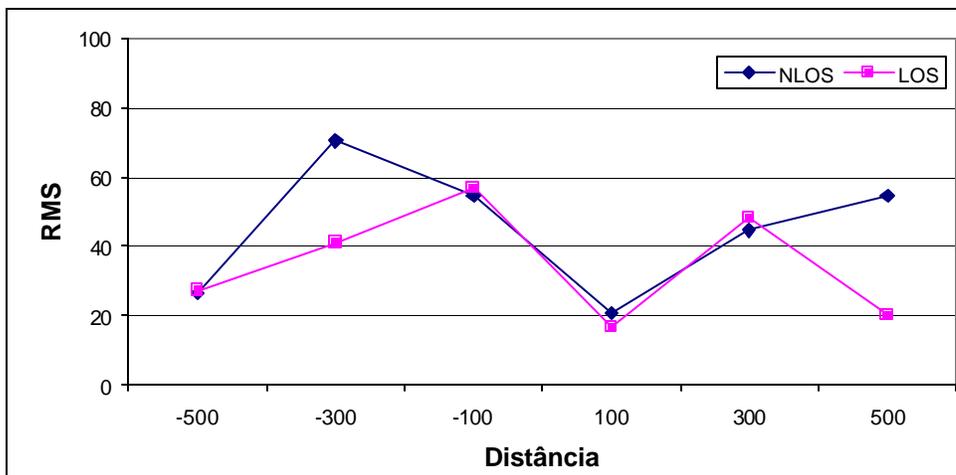


Figura 4.35: Erro RMS em função da distância (4 ERBs)

Ambiente Cruzamento– LOS versus NLOS - Chan

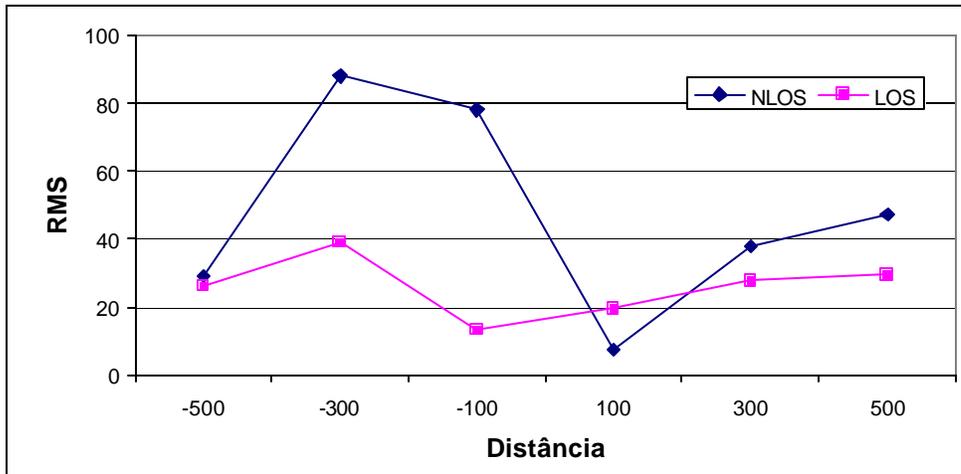


Figura 4.36: Erro RMS em função da distância (3 ERBs)

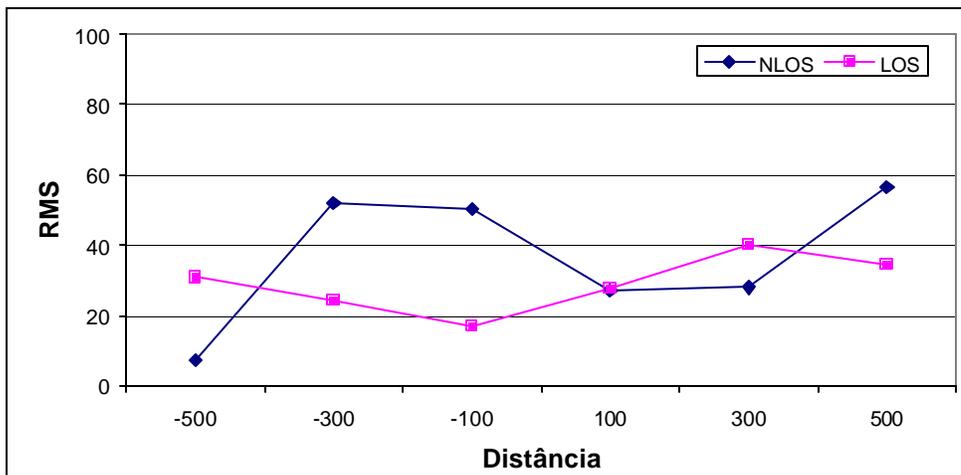


Figura 4.37: Erro RMS em função da distância (4 ERBs)

4.5

Efeito da altura das ERBs

Neste último ambiente foram feitas simulações para avaliar o efeito da altura das ERBs. A fonte foi posicionada ao longo do eixo y, que corresponde ao pior caso incluindo situações NLOS.

Considerando a configuração com 3 ERBs, foram obtidos resultados com alturas de 5 e 10 metros, para comparação com as estimativas obtidas com ERBs a 30 metros de altura, utilizadas em todas as simulações anteriores.

Foi analisado também o erro RMS para diferentes alturas da ERB. Em toda a dissertação a altura utilizada para ERB foi de 30m. Assim, neste ambiente, foram utilizadas 3 ERBs colocadas a uma altura de 5 metros e a uma altura de 10 metros.

Os resultados obtidos estão mostrados nas figuras 4.38 e 4.39 abaixo. A figura 4.40 reproduz os resultados para a ERB com 30 metros de altura, já apresentados na figura 4.20, para efeito de comparação.

As figuras 4.41 e 4.42 apresentam os mesmos resultados para as três alturas organizadas num só gráfico para cada método, para facilitar a comparação. Pode ser observado nas figuras que para alturas da ERB de 5m e 10m o resultados são bem melhores do que os obtidos com as ERBs de 30m.

Ambiente Cruzamento – NLOS – Efeito da altura das ERBs

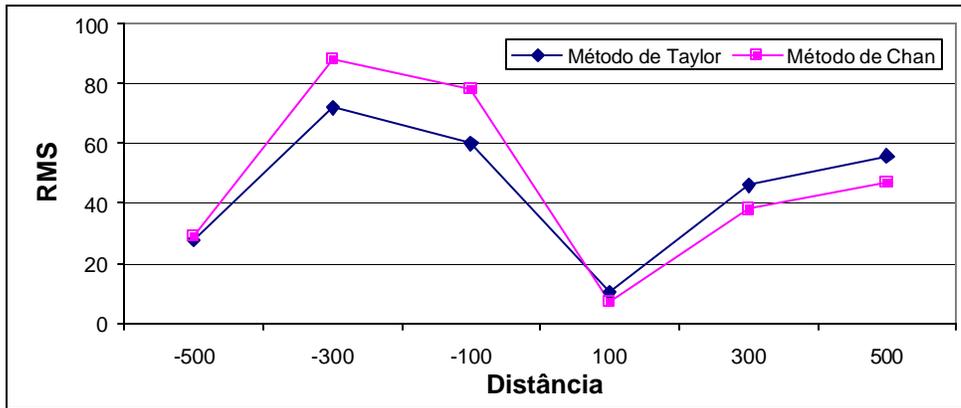


Figura 4.38: Erro RMS - alturas da ERBs = 30m (3ERBs)

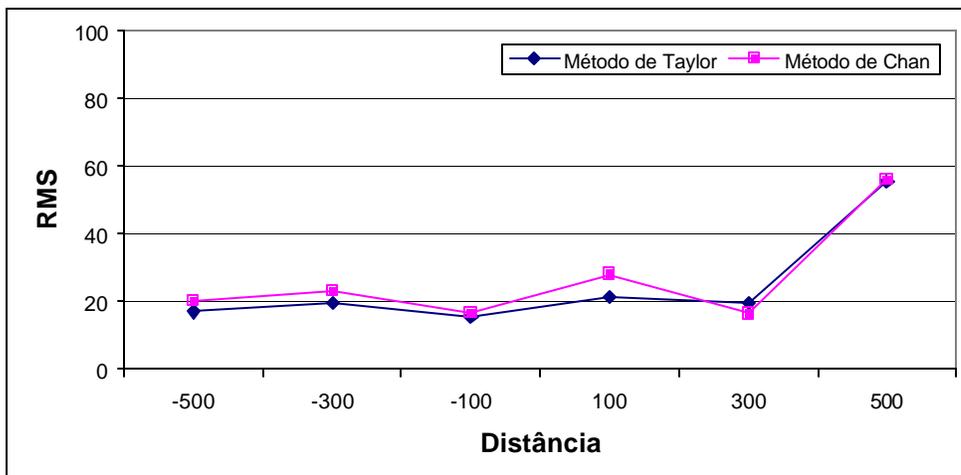


Figura 4.39: RMS em função da distância para altura da ERB = 10m (3ERBs)

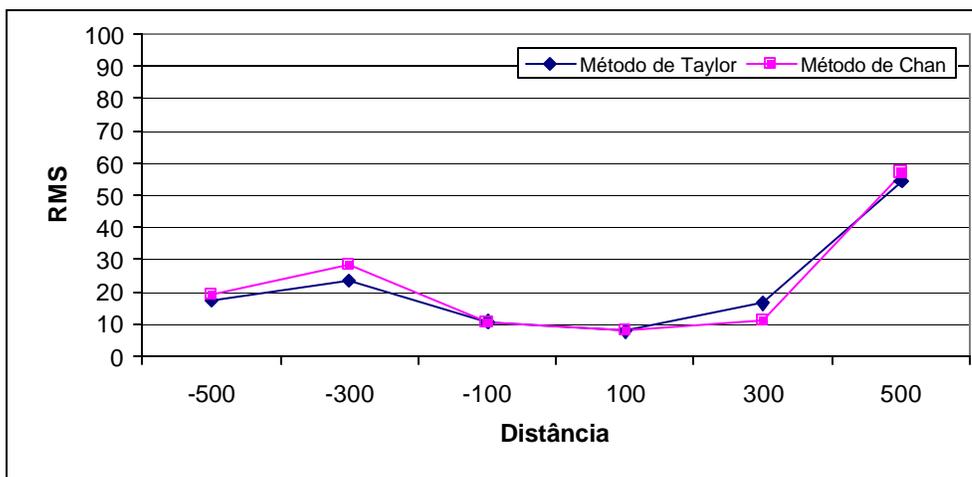


Figura 4.40: Erro RMS em função da distância para altura da ERB = 5m (3ERBs)

Ambiente Cruzamento– NLOS – Efeito da altura da ERBs

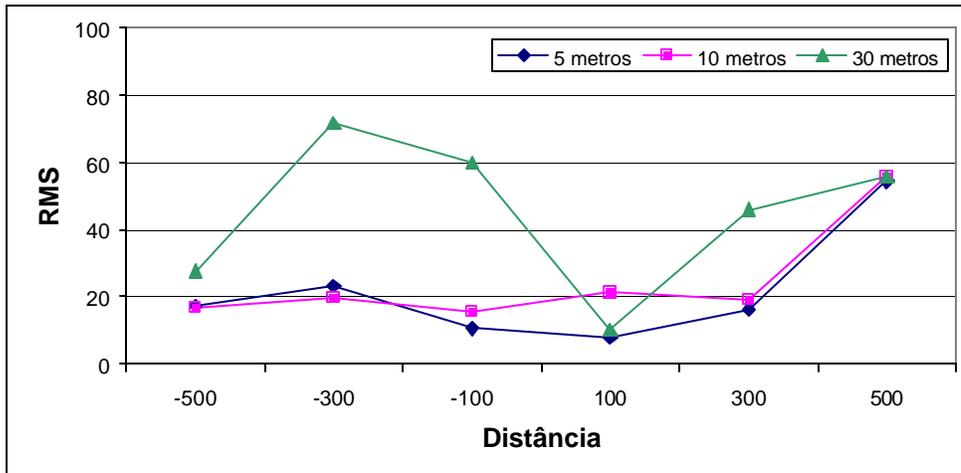


Figura 4.41: Erro RMS para diferentes alturas da ERB (Método de Taylor)

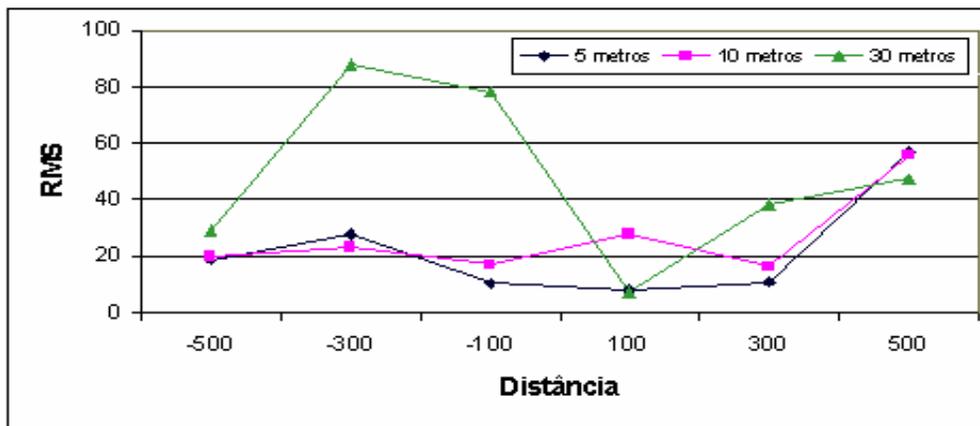


Figura 4.42: Erro RMS para diferentes alturas da ERB (Método de Chan)

4.6 Resumo do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos através de simulações com o objetivo de verificar o desempenho dos métodos de Linearização por Série de Taylor e o método de Chan em ambiente NLOS.

Os métodos de Chan e linearização por série de Taylor apresentam resultados semelhantes para os dois ambientes descritos acima, com ligeira vantagem para o método de Chan.

Para os dois ambientes utilizados o erro se mantém abaixo de 100m, o que atenderia as normas do FCC nos EUA, que estabelecem que as chamadas de emergência sejam localizadas com uma precisão de 125m em 67% dos casos. Entretanto deve-se considerar que os ambientes utilizados nas simulações são bastante simples.

Como era de se esperar o aumento do número de ERBs e conseqüentemente, o aumento das medidas redundantes de TdoA, contribui com uma melhoria no desempenho.

Mesmo em um ambiente simples como o cruzamento utilizado nas simulações, a condição de não visibilidade teve impacto negativo significativo sobre os resultados quando comparados com configuração semelhante na situação de visibilidade.

Observaram-se ainda melhores resultados para menores alturas de ERB. Este efeito era esperado, uma vez que os métodos de localização tendem a fornecer melhores resultados quando todas as ERBs envolvidas e a estação móvel encontram-se no mesmo plano.