

6 Resultados

Nesse capítulo, estão mostrados os resultados de avaliação de desempenho da modulação adaptativa em um sistema HSDPA obtidos neste trabalho, através das simulações realizadas na plataforma Matlab, onde foram implementados os principais elementos do sistema de transmissão de acordo com os modelos descritos nos capítulos anteriores. Visando o objetivo geral de determinar o impacto de um canal com multipercursos no desempenho, diversos casos foram considerados e são apresentados a partir da Seção 6.1.

Em todas as avaliações é considerado um canal com duplo percurso e ruído branco Gaussiano. Este ruído pode ser considerado como sendo equivalente ao ruído gerado no receptor, acrescido da interferência dos sinais de outras células.

Os principais parâmetros de desempenho utilizados foram a vazão, definida em (5.12) e a razão entre a potência do sinal desejado e a soma das potências das interferências e do ruído, dada por (5.10). Nas simulações, a atenuação média do raio principal é normalizada para um valor unitário, de forma que P_s é igual à potência do sinal na entrada do receptor na ausência de ruído e interferência.

Todos os resultados foram obtidos por simulação de uma transmissão de 500 quadros com pacotes de tamanho igual a 160 bits. Foi considerado um código detetor de erro, operando idealmente, onde o pacote é descartado quando nele é detetado um ou mais erros. O método de adaptação utilizado é aquele através da razão sinal-ruído do sinal recebido e combinado, abordado na Subseção 5.1.1.1, e a combinação no receptor Rake é do tipo MRC (Subseção 4.3.2.2).

Foram consideradas basicamente três relações entre as potências dos dois raios: $3dB$, $6dB$ e $10dB$, situações identificadas a partir de agora como Caso 1, Caso 2 e Caso 3, respectivamente.

6.1. Influência dos Códigos de Espalhamento e de *Scrambling*

Como analisado na Subseção 2.3.2, o desempenho de transmissão em um sistema CDMA é extremamente dependente das propriedades dos códigos de espalhamento e de *scrambling*. Quanto maior for o grau de ortogonalidade entre as versões deslocadas destes códigos, melhor será o desempenho. Se, além disso, for usado o receptor Rake, o desempenho poderá ser melhor que em um canal sem multipercursos.

Os códigos de espalhamento foram descritos na Subseção 2.3.2.1. Na realidade, o código de *scrambling* é o responsável pela discriminação dos multipercursos. Porém, o código proposto em [7], truncado no comprimento do quadro (38400 *chips* para 15 janelas de tempo ou 7680 *chips* para 3 janelas), não apresentou resultados satisfatórios quando foi utilizado um segundo raio, interferindo no primeiro.

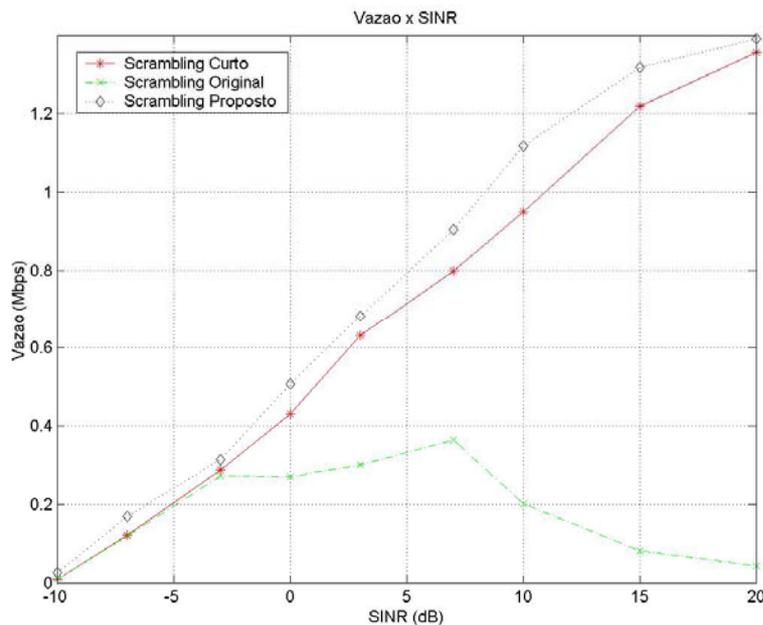


Figura 29 – Comparação entre diferentes códigos de *scrambling*, para 3km/h

O gráfico da Figura 29 mostra o Caso 1, para 3km/h, utilizando o código de *scrambling* original (truncado em 7680 *chips*), o código de *scrambling* proposto por esse trabalho (truncado em 16 *chips*) e um terceiro código de *scrambling* (código curto de comprimento igual a 15), para efeito de comparação.

O atraso do segundo raio em relação ao primeiro é de três períodos de um *chip*. A Figura 30 ilustra as mesmas curvas para 120 km/h .

Sem muito esforço, percebemos que o uso do código de *scrambling* originalmente proposto em [7], é inadequado quando da existência de multipercursos. Independentemente da velocidade do usuário, as curvas de vazão com esse código sofrem um descaimento para valores maiores que $SINR = 7\text{ dB}$.

Através de testes, percebeu-se que esse código, em conjunto com o código de espalhamento, não estava conseguindo eliminar os raios interferentes em relação aos raios “principais” de cada braço do receptor Rake (Figura 17). Por isso, com altos valores de $SINR$, onde o ruído é baixo, a interferência passa a ter bastante influência sobre o raio principal, causando a degradação na vazão.

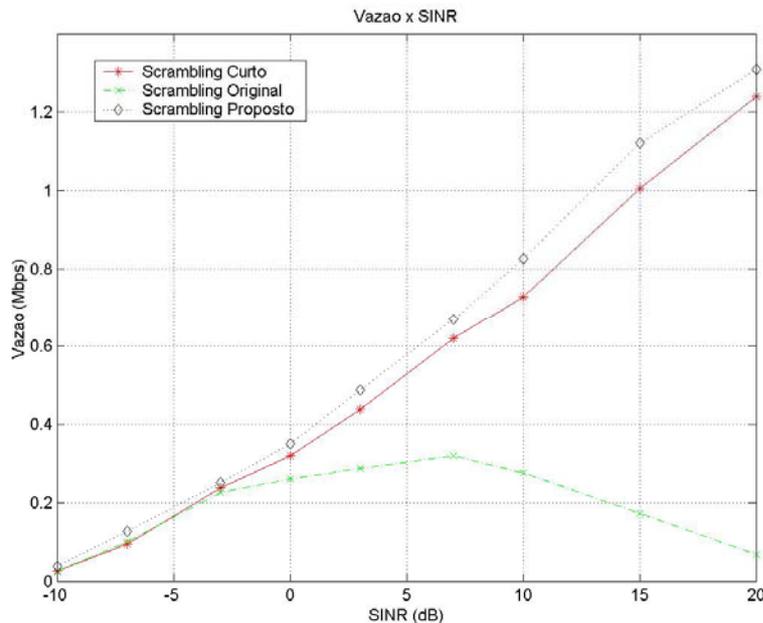


Figura 30 – Comparação entre diferentes códigos de *scrambling*, para 120 km/h

Por isso, propusemos um truncamento de acordo com o tamanho do fator de espalhamento, que no nosso caso é 16. Desse modo, resultados bastante satisfatórios foram alcançados, como mostram as Figuras 29 e 30. Esse código de *scrambling* proposto é o que está sendo utilizado em todas as análises deste trabalho.

Com esse código, os sinais interferentes em cada braço do Rake são bastante atenuados. Por isso, mesmo com altos valores de $SINR$, a vazão continua a

crescer, à medida que o nível de ruído diminui. A utilização de um código de *scrambling* de comprimento curto e igual a 15 também se mostrou eficiente, porém seu desempenho ficou abaixo do código truncado em 16 *chips*. Por isso, como já foi dito, esse código é utilizado em todas as simulações deste trabalho.

Esses últimos dois gráficos mostram o quanto que o desempenho do sistema HSDPA em presença de multipercursos é sensível ao tipo do código de *scrambling* utilizado. O estudo da influência desses códigos no sistema pode ser considerado como uma possibilidade de trabalho futuro.

A Figura 31 compara as curvas do Caso 1 e do Caso 2, para 3km/h, utilizando o código original e o proposto.

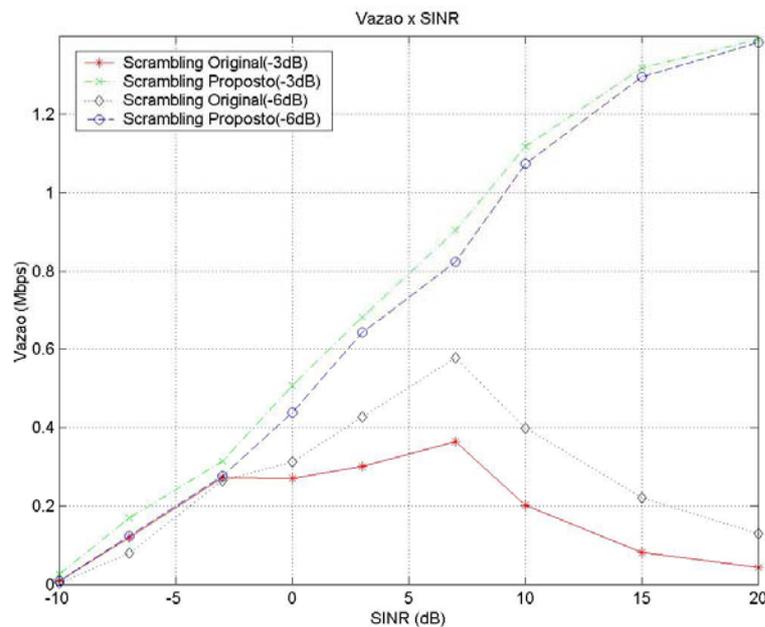


Figura 31 – Comparação, para 3km/h, entre os Casos 1 e 2, para diferentes códigos de *scrambling*

Comparando a curva com o código de *scrambling* proposto para o Caso 1 com a mesma curva para o Caso 2, observa-se que os valores de vazão para o primeiro caso são sempre um pouco maiores que para o segundo. Isso se explica, pois a combinação no receptor Rake está sendo feita com dois raios fortes, melhorando o desempenho. Porém, ao compararmos as mesmas curvas com o código de *scrambling* original, percebemos que o Caso 2 apresenta maiores valores de vazão que o Caso 1. Como o código de *scrambling* original se mostrou

ineficiente na atenuação dos sinais interferentes, é natural que o Caso 2 apresente melhores resultados, pois a potência do segundo raio é menor que no Caso 1, causando assim, menos interferência.

6.2. A Influência do Segundo Raio no Desempenho

Para avaliar a influência do segundo raio no desempenho do sistema, foram simulados, para diferentes velocidades do usuário (3 km/h , 50 km/h e 120 km/h), os casos 1, 2 e 3. Em todos os casos, o segundo raio está atrasado de um período de três *chips* em relação ao raio principal.

As Figuras 32, 33 e 34 trazem os gráficos da vazão em relação ao *SINR* para cada uma das situações acima.

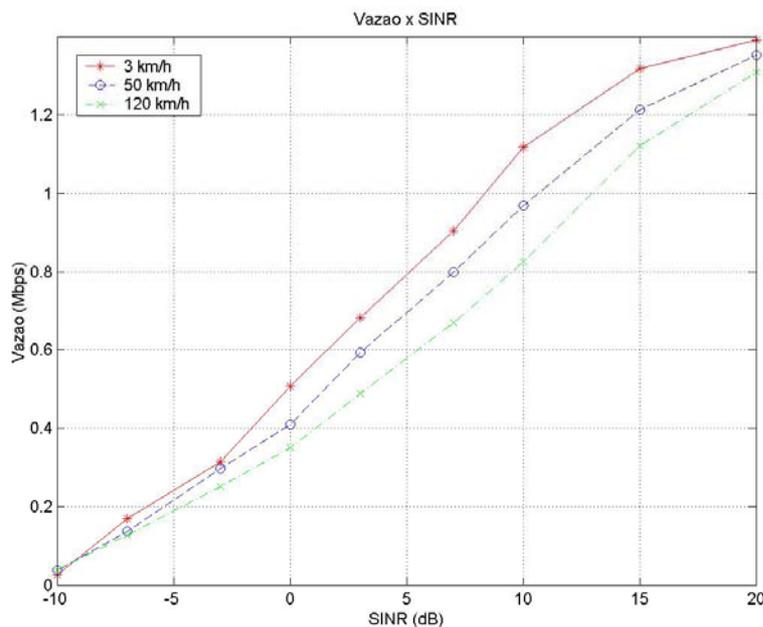


Figura 32 – Vazão x *SINR* para potência do segundo raio 3 dB abaixo da potência do raio principal

Observa-se, como era esperado, que o desempenho melhora com o aumento da razão sinal-ruído e que a vazão é maior para menores velocidades, uma vez que, para maiores velocidades, o canal varia mais, tornando-se mais imprevisível.

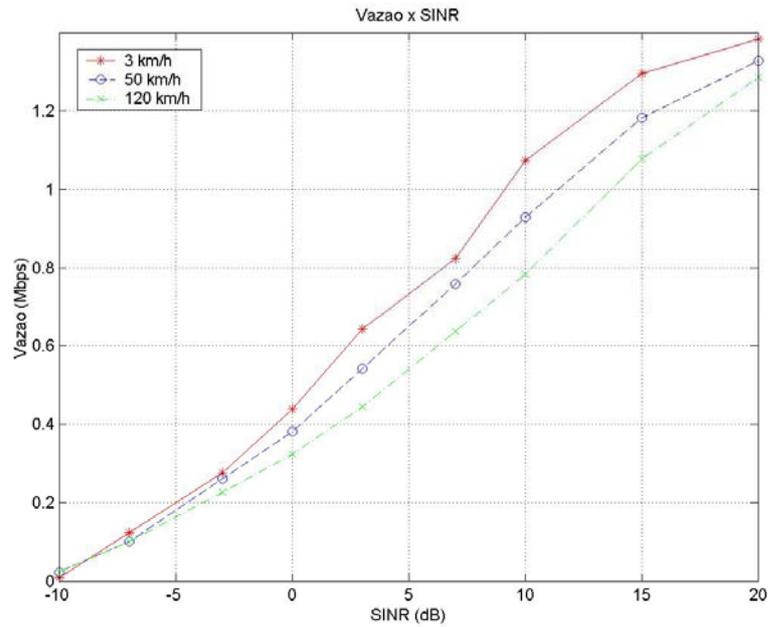


Figura 33 – Vazão x *SINR* para potência do segundo raio 6dB abaixo da potência do raio principal

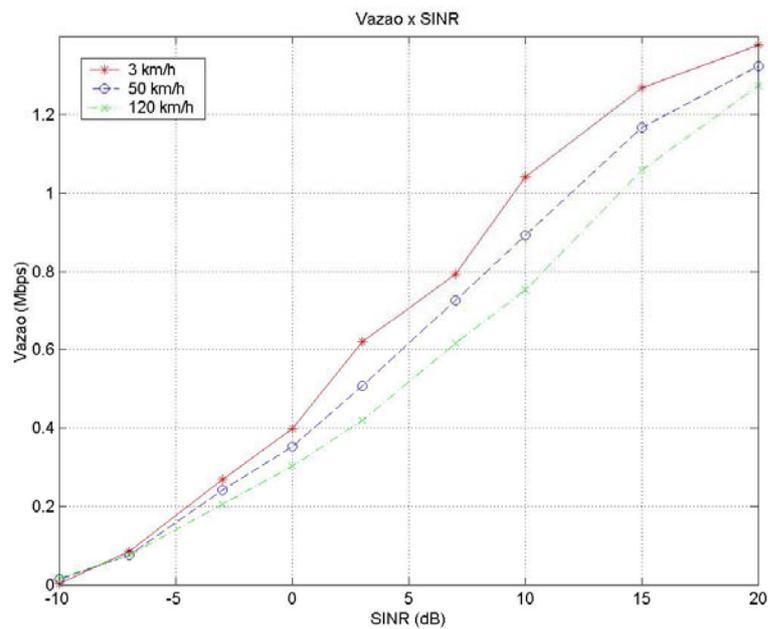


Figura 34 – Vazão x *SINR* para potência do segundo raio 10dB abaixo da potência do raio principal

O principal resultado quantitativo de interesse, porém, é a degradação na vazão provocada pela existência do segundo raio. Com o objetivo de obter este

parâmetro, comparamos a seguir, as três curvas para a velocidade de 3km/h , além da curva sem a presença do segundo raio.

Na Figura 35, observa-se que o desempenho aumenta com a potência do segundo raio, ou seja, quanto maior essa potência, mais alta é a vazão. A explicação para isso já foi dada nos comentários referentes à Figura 31. Esse resultado, que foi obtido para 3km/h , também ressalta a eficiência do processo de separação das duas componentes do sinal (através dos códigos de canalização e de *scrambling*), para serem combinadas no receptor Rake. Mesmo num caso onde a interferência sobre o raio principal é maior (Caso 1), o desempenho é melhor.

Para o caso do usuário a uma velocidade de 120km/h , observou-se o mesmo comportamento descrito acima.

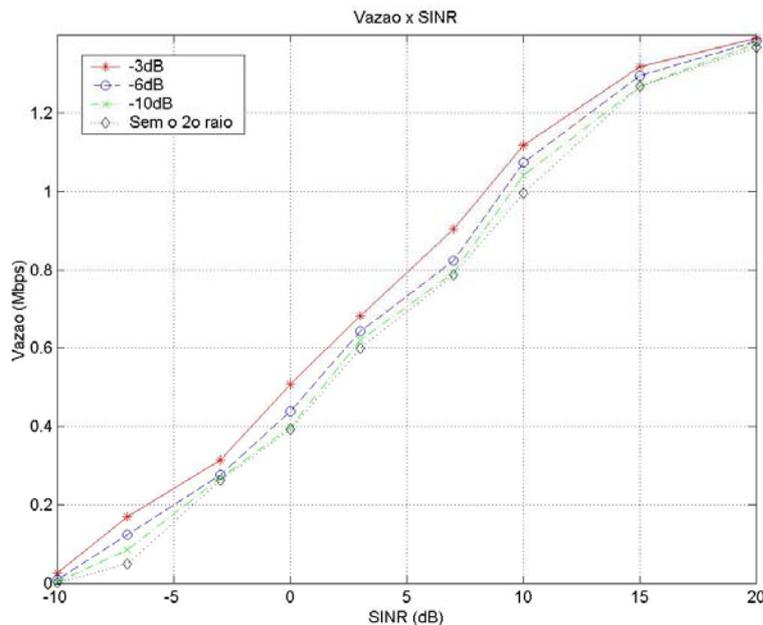


Figura 35 – Vazão x SINR para 3km/h , variando a potência do segundo raio

Nota-se também que, mesmo com um segundo raio de potência baixa – 10dB abaixo da potência do raio principal – o receptor Rake consegue um desempenho melhor que o caso onde não há segundo raio (não há interferência).

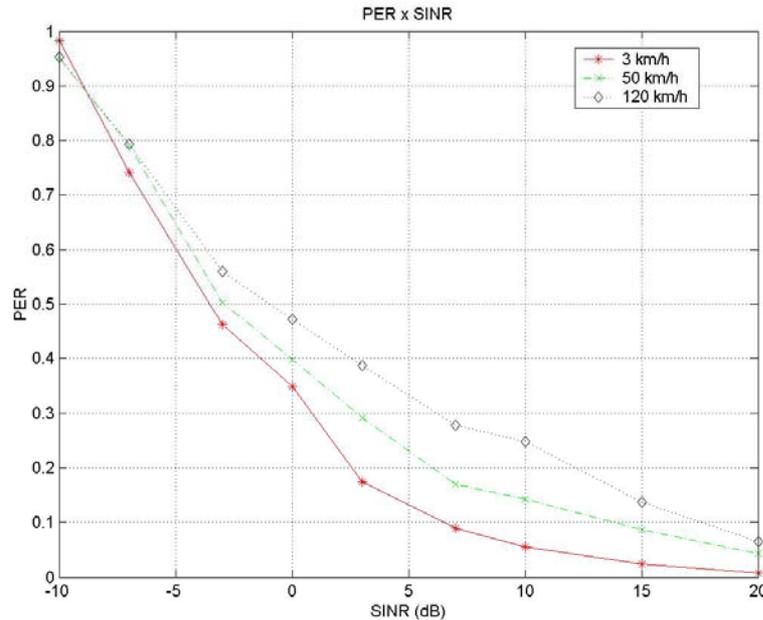


Figura 36 – PER x $SINR$ para potência do segundo raio $6dB$ abaixo da potência do raio principal

Na Figura 36 é mostrado o gráfico da probabilidade de perda de pacote (PER) em função da $SINR$ para o Caso 2, variando as velocidades. Como era de se esperar, com o aumento da velocidade, aumenta-se também a probabilidade de perda dos pacotes, pois o canal varia mais rapidamente, afetando o desempenho do processo de adaptação. Também observa-se a diminuição da PER com o aumento da razão sinal-ruído.

A influência do uso do receptor Rake está mostrada nos dois próximos gráficos. As Figuras 37 e 38 trazem, para $3km/h$ e $120km/h$, respectivamente, uma comparação, para o Caso 2 com atraso do segundo raio de três períodos de *chip*, nas seguintes situações: com o receptor Rake, sem o receptor Rake e sem a presença do segundo raio.

Facilmente é percebido que, na presença de um segundo raio, o uso do receptor Rake é imprescindível, pois a curva da vazão para o caso sem o uso do Rake está sempre abaixo daquela com o uso do Rake.

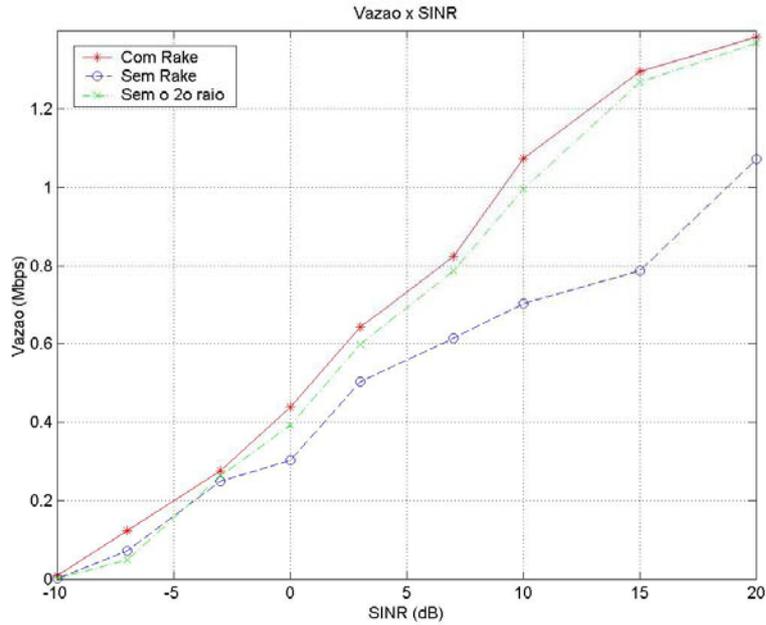


Figura 37 – Influência do uso do receptor Rake para 3km/h

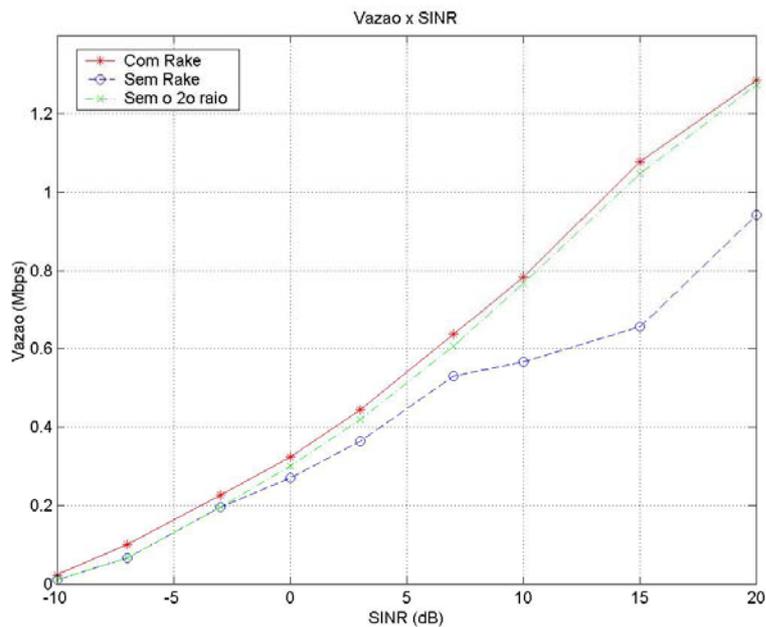


Figura 38 – Influência do uso do receptor Rake para 120km/h

Percebe-se também, em ambos os casos, que a curva sem o Rake, em determinado momento, tem o seu crescimento bastante diminuído, afastando-se das outras duas curvas.

O que, a princípio pode parecer algo anormal, é facilmente explicado, pois a acentuada diminuição do crescimento das curvas sem o Rake coincide com o

início da utilização da modulação 64-QAM pela adaptação. Sendo a 64-QAM uma modulação com intervalos de decisão pequenos, ela é bastante sensível a qualquer interferência causada pelo raio secundário tornando-se, portanto, inviável nesse caso.

A Figura 39 mostra a utilização das modulações pela adaptação, em 3 km/h , para o caso onde não é usado o receptor Rake. Note que, na Figura 37, a curva para o não uso do Rake começa a cair a partir de $\text{SINR} = 10\text{ dB}$ que é justamente o valor onde a adaptação começa a utilizar a modulação 64-QAM, como pode ser visto na Figura 39. Resultado semelhante foi encontrado para 120 km/h .

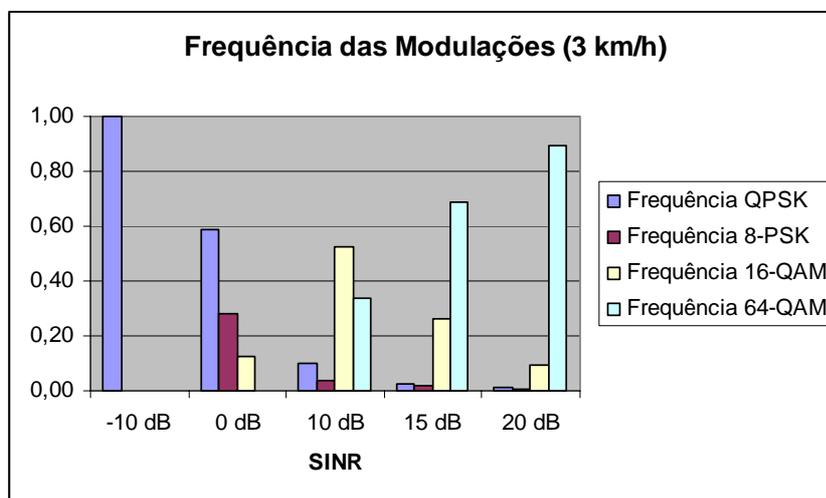


Figura 39 – Frequência das modulações para 3 km/h (sem o uso do Rake)

Ainda sobre as Figuras 37 e 38, podemos observar que, tanto para 3 km/h quanto para 120 km/h , as curvas com o Rake apresentam sempre um melhor desempenho que as curvas sem o segundo raio (sem interferência alguma). Isso mostra o bom resultado que obtivemos com o uso do Rake, superando até o caso onde não há interferência alguma atuando sobre o raio principal.

6.3. Impacto de Alguns Aspectos da Implementação

Na implementação do simulador, há alguns aspectos que merecem serem analisados, no que diz respeito à influência deles no desempenho do sistema.

Avaliaremos nessa seção o método de adaptação utilizado, o critério de combinação no receptor Rake, assim como o impacto do atraso na realimentação da informação necessária à adaptação e do tamanho do quadro no desempenho do sistema.

6.3.1. Método de Adaptação

Inicialmente foi avaliada a degradação no desempenho da modulação adaptativa pela utilização do critério de adaptação, a partir das amostras no detetor, em relação ao valor da razão sinal-ruído obtida de forma ideal na simulação.

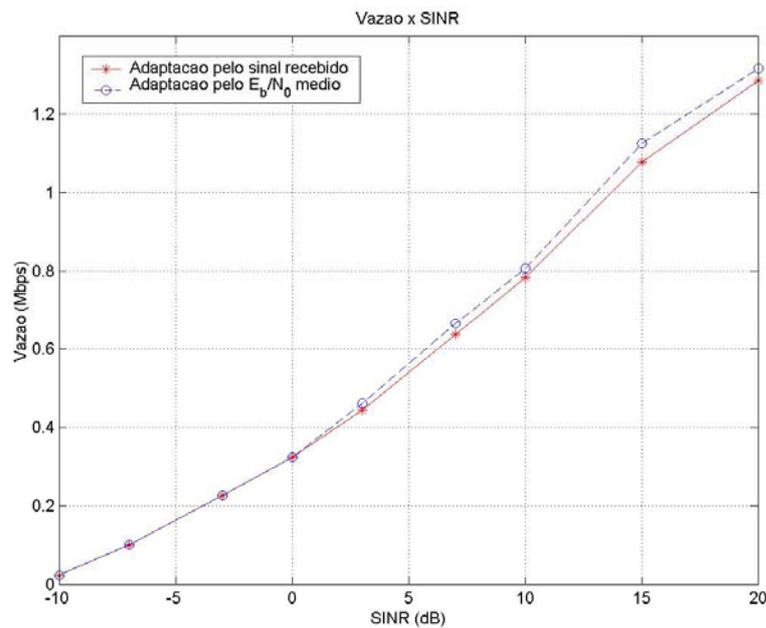


Figura 40 – Comparação entre diferentes métodos de adaptação para 120km/h

Para o Caso 2, ou seja, relação entre raio principal e secundário igual a 6dB, verifica-se que os resultados da vazão são praticamente iguais com o móvel a 3km/h enquanto que, para a velocidade de 120km/h, observa-se uma pequena degradação em relação ao caso ideal, praticamente desprezível, como indica a Figura 40. O critério de adaptação a partir das amostras no detetor foi usado em todos os casos a seguir.

6.3.2. Método de Combinação no Receptor Rake

A Figura 41 compara o MRC e o EGC para um usuário com velocidade de 3 km/h e o segundo raio com potência 3 dB abaixo da potência do raio principal (Caso 1) e com um atraso de três períodos de *chip* em relação a ele. A comparação é feita através do gráfico vazão x *SINR*. Na Figura 42, temos a mesma comparação, feita agora para 120 km/h .

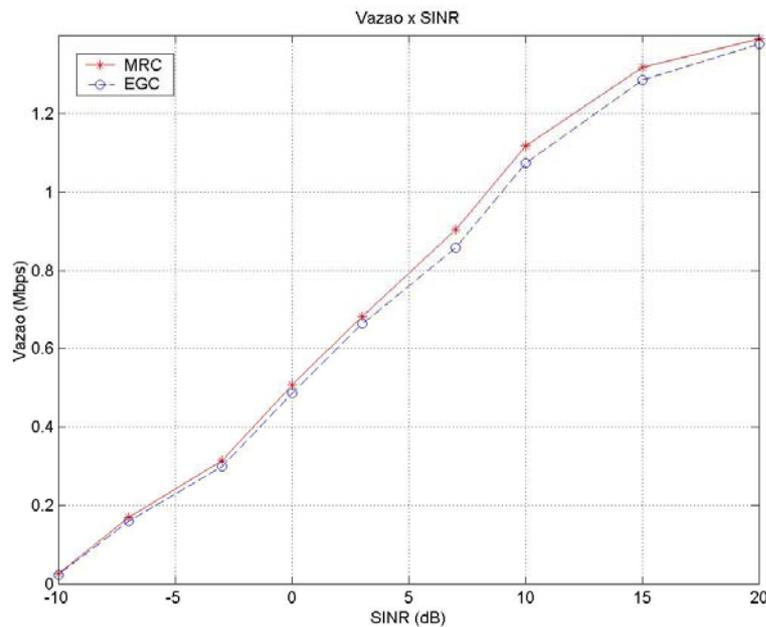


Figura 41 – Comparação entre MRC e EGC para 3 km/h e potência do segundo raio 3 dB abaixo da potência do raio principal

Como já era esperado, a técnica MRC se mostra bem mais eficiente que a EGC, alcançando valores bem maiores de vazão para a velocidade de 120 km/h . Em todas as simulações restantes desse trabalho, é utilizada a técnica de combinação de sinais MRC, no receptor Rake.

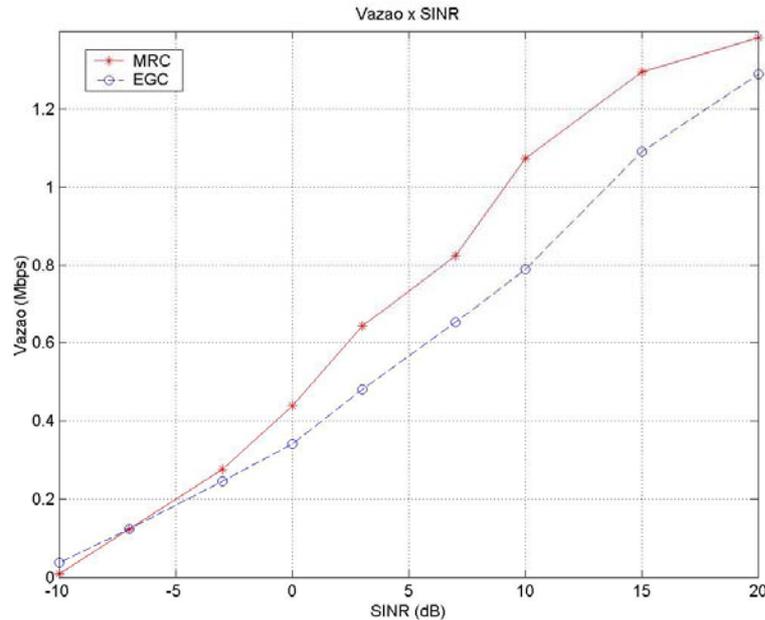


Figura 42 – Comparação entre MRC e EGC para 120km/h e potência do segundo raio 3dB abaixo da potência do raio principal

6.3.3. Atraso na Realimentação da Informação

A seguir, é feita uma avaliação do impacto que o atraso na realimentação da informação necessária à adaptação pode trazer ao sistema.

Idealmente, é realizada a escolha da modulação no quadro atual para, no próximo quadro, a transmissão ser feita com essa modulação. Porém, se ocorrer um atraso na realimentação dessa informação, a modulação escolhida será utilizada com um ou dois quadros de atraso. Os gráficos das Figuras 43 e 44 mostram o impacto desse atraso para 3km/h e 120km/h, respectivamente. Para isso, foi considerado o Caso 1 com atraso do segundo raio em relação ao principal de três vezes o período de um *chip*.

Pode-se observar através da Figura 43 que, para 3km/h, a vazão praticamente não se altera com o aumento do atraso. Esse resultado é idêntico ao obtido em [4], onde é avaliado o caso onde não há raio secundário. Isso se deve ao fato de o canal variar muito pouco ao longo de alguns quadros, então não faz muita diferença se a informação chega atrasada de um ou dois quadros.

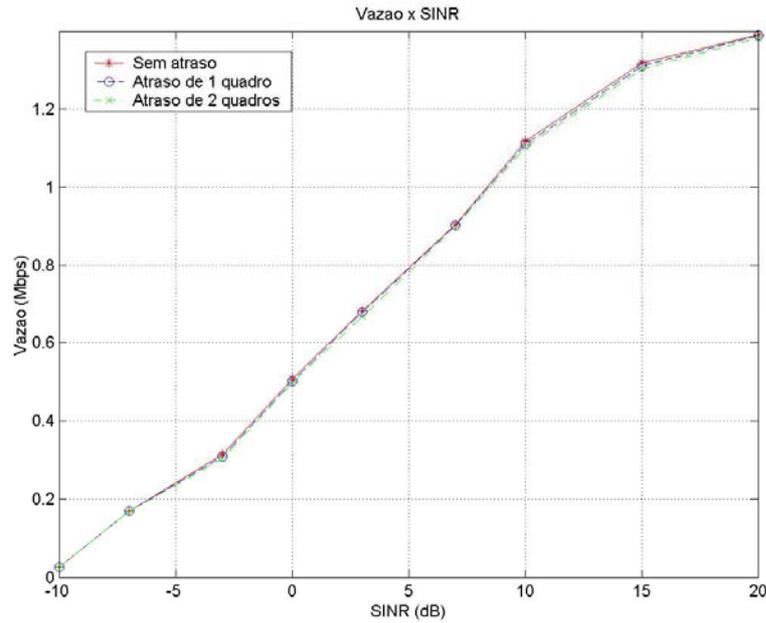


Figura 43 – Efeito do atraso na realimentação do sistema para 3km/h

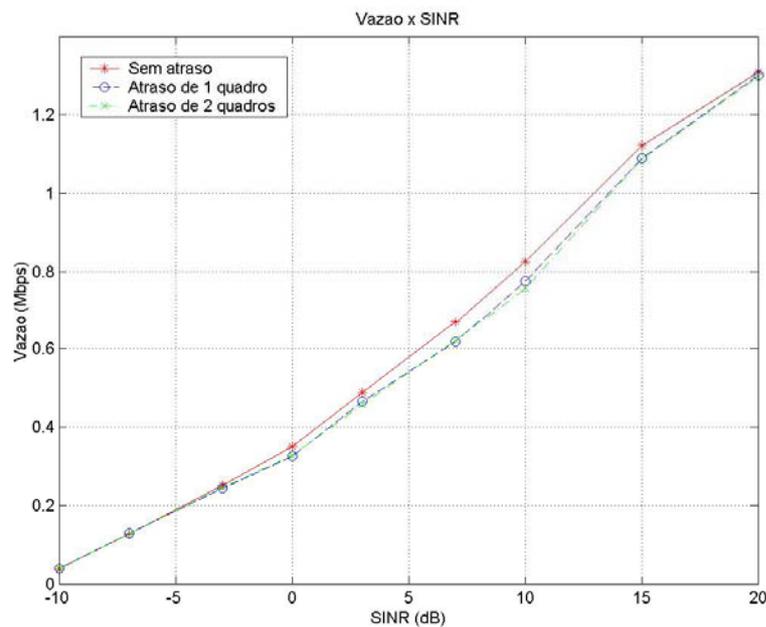


Figura 44 – Efeito do atraso na realimentação do sistema para 120km/h

Já na Figura 44, para 120 km/h, há uma pequena degradação da vazão com o atraso na realimentação. É que, para altas velocidades, o canal apresenta maiores variações de um quadro para outro. Logo, uma escolha que seria a melhor para o próximo quadro, pode não ser a mais adequada para os quadros seguintes. Esse resultado também foi obtido em [4].

6.3.4. Tamanho do Quadro

A influência do tamanho do quadro na vazão do sistema é avaliada a seguir, através da Figura 45.

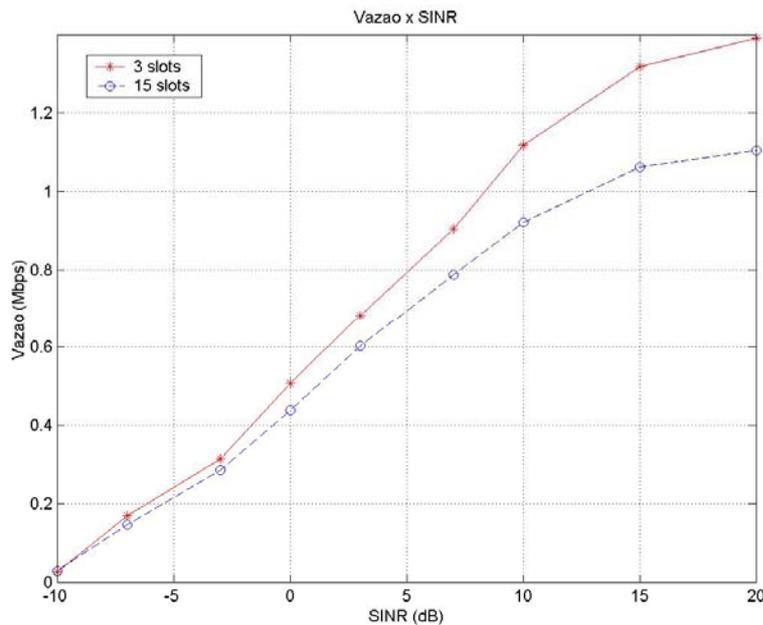


Figura 45 – Influência do tamanho do quadro para 3km/h

Observa-se que a vazão é maior para um tamanho de quadro igual a $3T_{slot}$ (três vezes o tamanho da janela de tempo) que para um quadro maior, de tamanho $15T_{slot}$. Com um menor quadro, é mais fácil o acompanhamento das mudanças do canal. Devido à rapidez de variação do canal, utilizamos um tamanho de quadro pequeno. Outra vantagem dessa escolha é um menor atraso na transmissão, que é um dos requisitos do sistema HSDPA. Ainda há um outro motivo para se fazer essa escolha: um tamanho de quadro menor proporciona uma melhor distribuição do uso do canal pelos usuários que o compartilham.

Vale salientar que, para 120km/h , a curva da vazão com quadro de $15T_{slot}$ apresentou um desempenho bastante inaceitável. Isso porque, além da dificuldade de se acompanhar as mudanças do canal com esse tamanho de quadro, em altas velocidades, o canal varia muito rapidamente.