

6 Conclusão

Neste trabalho, procuramos fazer uma avaliação de desempenho da técnica de modulação adaptativa utilizada em sistemas celulares, mais especificamente no sistema de terceira geração WCDMA/HSDPA. Para isto, desenvolvemos os conceitos básicos necessários descrevendo os principais elementos da camada física do WCDMA e introduzindo os fundamentos das técnicas adaptação de enlace, em particular da técnica de modulação e codificação adaptativa. E completando esta parte básica, descrevemos toda a estrutura do HSDPA, comentamos sobre o impacto do HSDPA na arquitetura da rede de um sistema WCDMA e detalhamos a camada física, explicando os canais HS-PDSCH, HS-PSCCH e Uplink HS-DPCCH.

A avaliação de desempenho foi feita através de modelagem analítica e de um programa de simulação desenvolvido para esta finalidade. A modelagem analítica e as principais características do programa desenvolvido foram apresentadas em detalhe no capítulo 5.

Através da análise de desempenho desenvolvida e dos resultados obtidos, foi possível obter um bom entendimento da técnica de modulação adaptativa, e da influência de diversos aspectos, como critérios de escolha da modulação, atraso na realimentação da informação, tamanho do quadro e técnica de estimação do canal.

Os resultados obtidos permitiram estabelecer algumas conclusões. Como já era esperado, o desempenho melhora com a razão sinal-ruído e piora com o aumento da velocidade. A explicação para esse efeito da velocidade é que, com uma maior velocidade, o canal varia mais e a adaptação não consegue acompanhar essas mudanças. Sendo assim, temos mais erros e, conseqüentemente, mais pacotes são descartados, obtendo uma vazão menor.

Além disso, percebemos que o critério baseado no valor de BER_{req} para determinação dos limiares de adaptação não seria o melhor critério no que se refere à vazão máxima. Sendo assim, obtivemos novos limiares, como mostrado

na figura 35 e tabela 8, baseados nas curvas de vazão teórica para as 4 modulações.

Outro ponto importante investigado é o atraso na realimentação da informação. Enquanto que para 3 km/h a vazão quase não se altera com o aumento do atraso, observamos, para 120 km/h, uma pequena variação da vazão com o atraso, uma vez que, neste caso, as condições do canal apresentam maior variação de um quadro para outro. Dessa maneira, uma escolha que seria mais adequada para o próximo quadro pode se tornar inadequada para os quadros seguintes.

Em seguida, procuramos avaliar o impacto do tamanho do quadro na vazão do sistema e verificamos que a vazão é maior para um quadro de tamanho $3 T_{slot}$ que para um quadro maior. Isso já era esperado, já que um quadro menor possui um canal menos variante que um quadro maior e, por isso, a adaptação de enlace é mais eficaz.

Depois, avaliamos a forma de prever o estado do canal e escolher a modulação. Podemos concluir que escolher a modulação com base na razão sinal-ruído medida no final do quadro é mais eficaz que o método baseado na razão sinal-ruído média do quadro.

Por fim, fizemos uma modelagem de adaptação mais realística, baseada na potência do sinal recebido. Até esse momento, a adaptação estava sendo feita baseada no perfeito conhecimento do canal, ou seja, de maneira ideal. Como já era esperado, a vazão com essa nova modelagem é mais baixa, porém, para valores elevados de razão sinal-ruído ela se iguala com a modelagem ideal, uma vez que, nesse caso, a potência do ruído é desprezível.

Considerada uma tecnologia de 3,5G, o principal objetivo do HSDPA é proporcionar ao WCDMA um aumento da vazão para serviços de melhor esforço. Vimos que a técnica de modulação adaptativa consiste em um poderoso artifício para alcançar este objetivo.

No entanto, as análises feitas apresentam limitações pelo fato de considerar um modelo simplificado em relação ao cenário mais realista de transmissão no HSDPA. Neste sentido, elementos importantes devem ser incluídos neste modelo para se ter uma avaliação das técnicas de adaptação de enlace. Entre eles, podemos sugerir para trabalhos futuros, a introdução de códigos corretores de erro no sistema. Os *turbo codes* são os códigos utilizados no HSDPA e já se sabe que eles podem trazer enormes benefícios.

A implementação da técnica de retransmissão automática híbrida (H-ARQ) é uma ferramenta poderosa que pode aumentar ainda mais a vazão do sistema WCDMA. Esse é outro ponto importante a ser incluído no modelo.

Com relação ao modelo de canal, um elemento a ser incluído é a ocorrência de multipercursos cujo efeito no comportamento da modulação adaptativa, deve ser avaliado, utilizando-se neste caso o receptor *Rake*.

Um aspecto geral que merece investigação é o impacto das implementações no desempenho, uma vez que no nosso modelo diversos processos são idealizados. Em particular, a implementação de técnicas de estimação de canal e sua utilização na escolha do modo de transmissão é um tema que desperta interesse.

Finalmente, embora tenhamos mostrado no apêndice A que sob o ponto de vista da teoria da informação a performance da modulação adaptativa com potência variável não se altera em relação à potência constante, este aspecto poderia também ser investigado.

Dentre os padrões de terceira geração propostos, o WCDMA é o que tem emergido como o mais promissor. Atualmente ele já está em funcionamento em algumas partes do mundo. Sua extensão de dados, o HSDPA, tem surgido como uma solução para alcançar taxas de transmissão até 5 vezes maiores do que as do WCDMA. Por ser uma tecnologia nova, ainda existem muitos pontos a serem explorados. Sendo assim, esperamos ter contribuído de alguma maneira para o desenvolvimento e consolidação desta tecnologia.