

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalhos Futuros

Sistemas de comunicação celulares móveis de terceira geração deverão conjugar alta capacidade e flexibilidade de serviços. Serão implantados brevemente sistemas capazes de oferecer uma grande diversidade de serviços, cada um deles com características específicas de taxas de informação suportadas, tolerância ou não a atraso, taxa máxima de erro de quadro etc.

Para atender aos requisitos de alto desempenho e flexibilidade de taxas de informação transmitidas, os sistemas deverão ter estruturas receptoras mais sofisticadas que as empregadas nos sistemas de segunda geração. A combinação de detecção multiusuário com esquemas de acesso de múltipla taxa atenderá aos novos requisitos dos sistemas 3G. Particularmente entre os detectores MuD, os canceladores de interferência subtrativo multiestágio não lineares são um forte candidato devido principalmente à aceitável complexidade de implementação aliada à relativa imunidade aos erros nas estimativas dos parâmetros de sistema. Por sua vez, entre os esquemas de múltipla taxa, o que utiliza múltiplos códigos resulta em grande simplicidade no projeto das seqüências de espalhamento e facilidade de implementação.

Canceladores de interferência subtrativos multiestágio com decisor  $\tanh$  terão desempenhos sensivelmente maiores, principalmente na região de alto carregamento, quando comparados àqueles com decisor *hard* e *soft* do tipo linear ilimitado em canais AWGN. Já em canais com desvanecimento Rayleigh Plano, esta vantagem ainda é válida, porém a diferença de desempenho em relação ao decisor *hard*, torna-se modesta.

Canceladores de interferência subtrativos híbridos produzem melhores resultados globais de desempenho quando comparados ao cancelador paralelo ou sucessivo, uma vez que combinam favoravelmente em suas estruturas as características do detector SIC e PIC. Desta forma são capazes de produzir desempenhos similares ao SIC em ambiente com forte efeito near far e ao PIC na condição de controle perfeito de potência.

Existem disponíveis vários métodos de implementação computacional para um simulador de canal com desvanecimento. A geração computacional dos coeficientes de canal Rayleigh baseada no método de Smith explora o modelo de potência espectral de Gans, enquanto que métodos como o de Jakes modificado ou aqueles que utilizam geradores de números aleatórios produzem amostras

dos coeficientes diretamente no domínio do tempo. Métodos baseados em RNG não são tão precisos quanto aqueles desenvolvidos a partir do modelo determinístico de Jakes modificado ou do modelo de Gans, uma vez que não levam em conta o espalhamento Doppler. Métodos de geração dos coeficientes baseados nos modelos de Jakes ou Gans são capazes de descrever o canal de forma mais realista às custas de uma maior complexidade de implementação computacional. Neste trabalho foram implementados dois simuladores de canal Rayleigh, o primeiro baseado em geradores RNG do MatLab e outro no modelo de Jakes modificado. Os dois procedimentos mostraram-se ferramentas válidas e indispensáveis na caracterização do desempenho em canal Rayleigh Plano dos detectores MuD analisados.

Na seção 3.3 foi proposto um modelo para o cálculo analítico de desempenho de detectores MuD PIC multiestágio não lineares com decisores HD e tanh, fundamentado nos modelos anteriormente descritos em [Hui 98] e [Yoon 93]; adicionalmente, analisou-se o efeito do cancelamento parcial sobre o desempenho. Apesar do modelo analítico para o cálculo de desempenho desenvolvido produzir resultados aproximados (subestimados), quando comparados aos resultados de simulação MCS, a tendência correta para o desempenho é confirmada, tanto em relação ao estágio de cancelamento considerado, quanto em relação ao tipo de decisor não linear utilizado nos estágios intermediários. A validade deste modelo se justifica principalmente pela versatilidade da metodologia de cálculo aplicada a novas estruturas detectoras IC não lineares. Desta forma, afim de reduzir o tempo consumido na caracterização de novas topologias envolvendo cancelamento de interferência não linear, a investigação pode ser conduzida inicialmente obtendo-se desempenhos analíticos aproximados a partir da metodologia de cálculo analítico desenvolvida; finalmente, dispensando-se maior atenção apenas às topologias promissoras, desempenhos exatos são obtidos através da caracterização via simulação Monte Carlo, tanto para canais AWGN quanto para canais com desvanecimento Rayleigh.

Sistemas móveis de terceira geração DS/CDMA de múltipla taxa MPG utilizarão conjuntos de seqüências de comprimento igual à potência de 2, tornando mais simples o processo de detecção e cancelamento multiusuário dos sinais multitaxa, resultando em períodos de integração múltiplos do menor ganho de processamento. Desta forma, devem ser selecionados conjuntos de seqüências de espalhamento de comprimento  $N = 2^n$  com boas propriedades de correlação e com disponibilidade de um grande número de seqüências. O procedimento analisado na seção 4.6 mostrou que a adição de um chip de valor  $(-1)$  ou  $(+1)$  na última posição das seqüências determinísticas de conjuntos "tradicionais" do tipo Gold ou Kasami produz conjuntos de seqüências de comprimento  $N = 2^n$

com melhores propriedades de correlação que as puramente randômicas; algumas destas famílias de seqüências estendidas disponibilizam uma quantidade elevada de seqüências, destacando-se as de Kasami-VL. Conjuntos de Gold estendidos foram utilizados neste trabalho na caracterização comparada de cinco estruturas IC–Multitaxa MC, MPG e híbrida, analisadas no capítulo 5.

Neste trabalho foram propostas e caracterizadas cinco novas topologias baseadas no cancelamento de interferência subtrativo multiusuário aplicáveis a sistemas DS/CDMA de múltipla taxa do tipo MC e MPG. Análises conduzidas no capítulo 5, baseadas em resultados de simulação MCS em canais AWGN, mostraram que esquemas híbridos IC–Multitaxa produzem melhores desempenhos médios quando comparados aos esquemas “puros”, nas mais variadas condições de operação do sistema.

A caracterização das topologias IC–Multitaxa mostraram que em MPG existe inerentemente uma redução da imunidade ao efeito *near-far* em função do aumento da taxa de dados, justamente devido à redução na capacidade de rejeição da interferência de fundo e de múltiplo acesso, em consequência da redução do ganho de processamento. A progressiva degradação no desempenho de grupo dos usuários *LR* para os de *MR* e destes para os de *HR* pôde ser observada com resultados de simulação apresentados para as estruturas MPG–GSIC Tanh e MPG–PICw Tanh; enquanto que nos esquemas baseados em MC, notadamente para as estruturas MC–PIC Tanh e MC–GSIC Tanh, esta redução no desempenho por grupo em função do aumento da taxa não foi perceptível.

Das estruturas propostas IC–Multitaxas analisadas, as melhores figuras de desempenho médio por grupo de usuários multitaxa e globais foram atingidos com a topologia híbrida MC–GSIC Tanh de três estágios analisada na seção 5.6. Esta estrutura foi capaz de produzir robustez *near-far* ótima para todos os grupos de usuários multitaxa, justamente por combinar dinamicamente, as características dos canceladores de interferência multiestágio paralelo e sucessivo.

Uma vez que conjuntos de seqüências de Kasami–VL estendidos com razoáveis propriedades de correlação disponibilizam um imenso número de seqüências de espalhamento, a estrutura híbrida MC–GSIC Tanh proposta aqui torna-se uma forte candidata a integrar soluções de detecção multiusuário no canal reverso (ERB) em sistemas multitaxa de terceira geração.

Entre as estruturas de detecção IC–Multitaxa propostas neste trabalho foram identificadas aquelas mais promissoras após ampla caracterização comparada empregando-se simulação Monte Carlo em canais AWGN. Evidentemente, deve-se caracterizar essas topologias adaptando-as à detecção em sistemas práticos mais realistas. Como trabalhos futuros, as seguintes direções são sugeridas:

- análise e caracterização dos detectores híbridos IC-Multitaxa em canais com desvanecimento multipercurso incorporando algum tipo de diversidade no combate às variações do canal, principalmente a temporal na forma do receptor RAKE no primeiro estágio;
- estudo de estruturas capazes de diminuir a MAI intercelular de forma (semi-) cega, incorporando resultados deste estudo na análise de desempenho das estruturas híbridas IC–Multitaxa com duplo espalhamento (códigos de canalização e embaralhamento);
- desenvolvimento de um método (semi-) analítico para a determinação de desempenho de sistemas IC–Multitaxa;
- estudo mais aprofundado de estimadores de parâmetros de canal e análise de sensibilidade das estruturas anteriormente propostas em relação aos desvios desses estimadores.