

Capítulo 5

Novos Esquemas Multitaxa com Detecção Multiusuário

Atualmente, existem vários grupos pesquisando novas topologias de acesso multitaxa com detecção MuD visando atender as especificações dos sistemas celulares 3G. Foram identificados seis grupos de pesquisa com resultados publicados na área de sistemas CDMA de múltipla taxa associado à detecção multiusuário:

1. A. Johansson e L. K. Rasmussem (Chalmers Univ., Suécia) – SIC, SIC multiestágio e G-SIC combinado aos esquemas de dupla taxa do tipo MM e MC;
2. M. J. Juntti e M. Matta-aho (Oulu Univ., Finlândia); R. Prasad (Delft Univ., Holanda) e T. Ojamperä (Nokia Telecomm, Finlândia) – PIC Parcial por Grupo associado a MPG, G-PIC e G-SIC combinados aos esquemas de dupla e tripla taxa do tipo MC e MPG;
3. M. Saquib (WinLab, atual Louisiana State Univ., EUA) – Decorrelator combinado ao esquema de dupla taxa do tipo MPG;
4. U. Mitra e J. Chen (Ohio State Univ., EUA) – Receptor Ótimo, Decorrelator e MMSE associado ao esquema de dupla taxa do tipo MPG e MC, com algumas generalizações para múltipla taxa; U. Mitra e R. Srinivasan (Ohio State Univ.) - Receptor Convencional e Decorrelator combinado ao esquema de dupla taxa do tipo VCR–Wiener;
5. S. Buzzi, A. Tulino e colaboradores (Univ. di Napoli, Itália) – MMSE fixo e adaptativo associado aos esquemas de dupla taxa do tipo MPG, VCR e VCRFS;
6. D. Koulakiotis e A. H. Aghvami (King College, UK) - SIC e HIC associados a esquema de tripla taxa MC.

A maioria das publicações associando esquema de múltipla taxa à detecção MuD trata de esquemas de dupla taxa e as figuras de desempenho obtidas são assintóticas, a AME e a NFRES. Inexiste, até o presente, resultados mais sistemáticos e completos capazes de responder à questão: qual dentre os esquemas de acesso produz melhor desempenho em termos de BER combinado a qual estrutura detectora multiusuário? Trabalho anterior abordando esquemas de múltipla taxa combinados à detecção Convencional (SuD) pode ser encontrado em [McTiffin. 94].

Estudos recentes sobre *métodos de acesso de dupla taxa combinados a detectores MuD Lineares* restringiram-se quase que exclusivamente à obtenção de desempenho em termos de eficiência assintótica multiusuário, AME (limites ou expressões exatas) [Chen 96], [Mittra 96], [Chen 97], [Mittra 97], [Chen 98], [Srinivasan 98b], [Srinivasan 98a], [Saquib 98], [Chen 99b], [Chen 99c], [Chen 99a], [Mittra 99], [Srinivasan 99], [Sabharwal 99a].

Em [Saquib 98] analisou-se o desempenho do Decorrelator, síncrono e assíncrono em canais AWGN, na detecção de sinais de dupla taxa MPG considerando dois grupos de usuários, alta taxa (HR) com taxa múltipla dos usuários de baixa (LR). Propõe-se um esquema que emprega Decorrelator de decisão realimentada (DDF) semelhante à estrutura IC com decisões realimentadas, visando melhorar as decisões ainda não realizadas (seção 2.4.3). Em [Chen 96] obteve-se uma extensão de resultados para o Decorrelator MPG de dupla taxa analisados em [Saquib 98].

O desempenho AME dos esquemas de acesso de taxa dupla MPG e MC com detector de máxima verossimilhança (ML) [Verdú 86a] foi analisado em [Mittra 99]. Obteve-se a AME para o MPG e MC em três casos de seqüências: • caso geral em que as correlações cruzadas são mantidas baixas e distintas; • caso em que as correlações cruzadas são equicorrelacionadas ($\rho_{i,j} = \rho, \forall i \neq j$); • correlações cruzadas pseudo-equicorrelacionadas (dois valores; ρ e $\frac{\rho}{c}$).

No entanto, até hoje são raras as análises de desempenho em termos de BER (regiões de $\frac{E_b}{N_0}$ baixa, média e alta ou em função do carregamento) para os diversos esquemas de acesso de múltipla taxa combinados à detecção MuD. Nos casos em que desempenhos analíticos foram obtidos para esquemas MuD–multitaxa estes se referem a detectores lineares do tipo Decorrelator ou MMSE com taxas restritas a apenas duas. Para estruturas não lineares do tipo IC dedicadas à detecção de sinais de múltipla taxa, como as propostas aqui, inexistem análises de desempenho mais completas ou comparativas. Os estudos disponíveis para este tipo de detector consideram apenas simulação Monte Carlo e não estabelecem análises comparativas de desempenho entre esquemas de acesso distintos. Uma das raras exceções estabelece uma comparação de desempenho via simulação MCS entre esquemas MC e MPG de tripla taxa com detecção G–SIC não linear [Juntti 99b].

Neste capítulo são apresentadas novas estruturas receptoras multiusuário para sistemas de tripla taxa MC e MPG. Detectores canceladores de interferência subtrativo do tipo PIC multiestágio e G–SIC multiestágio foram combinados aos esquemas de múltipla taxa MC e MPG, originando várias topologias de detectores IC-multitaxa. Cinco novas estruturas e duas variações de uma delas foram analisadas e comparadas através de resultados de simulação Monte Carlo. Extensas simulações Monte Carlo foram realizadas considerando canais AWGN e sinais multitaxa síncronos e assíncronos.

Resultados de desempenho foram obtidos para estruturas receptoras em canal Rayleigh Plano, apesar destes resultados não terem sido analisados neste capítulo.

A seguir serão descritos e comparados novos algoritmos para esquemas de acesso IC–Multitaxa. São eles:

1. MC de tripla taxa com detecção PIC e decisor tanh, **MC–PIC Tanh**. Inovação: uso do decisor tanh e caracterização mais ampla e comparada;
2. MPG de tripla taxa com detecção de grupo multitaxa ponderado com decisor tanh, **MPG–PICw Tanh**. Inovação em relação a [Meeteren 99] e [Ojanpera 98b]: uso do decisor tanh e caracterização mais ampla e comparada;
3. MPG de tripla taxa com cancelamento híbrido por grupo multitaxa e decisor tanh, **MPG–GSIC Tanh**. Inovação em relação a [Wijting 99] e [Juntti 99b]: uso do decisor tanh na etapa do cancelamento paralelo multiestágio por grupo e caracterização mais ampla; geração e comparação de três versões enfocando distintas estruturas para a obtenção e o cancelamento dos sinais de grupo;
4. Híbrido de 3 taxas composto por MC (*HR*) e MPG (*LR* e *MR*) com detecção G-SIC Tanh Parcial, **MC/MPG–GSIC Tanh**. Inovação: estrutura híbrida combinando MC e MPG com decisor Tanh Parcial;
5. MC de tripla taxa com detecção híbrida do tipo G–SIC de grupo K-P-S com P–S ajustável, **MC–GSIC Tanh**. Inovação em relação a [Koulakiotis 98]: estrutura com P–S ajustável em função das disparidades de energias recebidas e uso do decisor tanh; caracterização mais ampla e comparada.

A caracterização das topologias acima incluiu os desempenhos MCS $\overline{BER} \times$ população de usuários, $\overline{BER} \times \frac{E_b}{N_0}$ e robustez *near-far* considerando grupos de usuários com 3 taxas de dados, diferentes conjuntos de seqüências de espalhamento, ganho de processamento máximo $N = 32$, carregamento de sistema entre 50% a 100%, canais AWGN síncronos e assíncronos. Finalmente, devido à unificação dos parâmetros de sistema, foi possível estabelecer critérios de comparação e obter conclusões a respeito do desempenho \times complexidade das topologias analisadas.

5.1 Parâmetros de Simulação MCS

A tabela 5.1 apresenta os principais parâmetros empregados nas simulações Monte Carlo. As simulações foram conduzidas visando caracterizar o desempenho de sistemas MPG e MC de tripla taxa associados aos detectores MuD não lineares do tipo PIC e G-SIC com decisores *hard* e tanh;

os desempenhos MCS foram obtidos para cancelamento multistágio total ou parcial em canais (as-) síncronos AWGN. Foram escolhidas as seguintes taxas para os usuários de baixa LR , média, MR e alta taxa HR :

$$LR = R; \quad MR = 2R; \quad HR = 4R; \quad \text{com } R = \text{taxa básica} \quad (5.1)$$

O uso de seqüências de comprimento potência de 2 permite a comparação direta dos esquema MPG e MC. Neste sentido, visando simplificar e unificar a análise de desempenho para os esquemas de tripla taxa MPG e MC, além de manter os tempos gastos com simulações MCS em patamares factíveis, escolheu-se um ganho de processamento máximo para o MPG de $N = 32$, obtido a partir das seqüências de Gold31 com adição de um chip igual a -1 no final; para efeito de comparação foram realizadas algumas simulações empregando seqüências randômicas. No esquema MC, a designação das seqüências é imediata, enquanto que em MPG, aos usuários com taxas $2R$ e $4R$ serão designados seqüências de comprimento $N = 16$ e $N = 8$, respectivamente, obtidas dividindo-se as seqüências originais de Gold31 estendidas em 2 e 4; desta forma, por exemplo, os primeiros 16 chips de uma seqüência de Gold31 estendida espalha um bit de dados de um usuário MR , enquanto que o bit de dados subsequente deste mesmo usuário é espalhado pelos 16 chips finais da seqüência de Gold31 estendida considerada.

Sistema	CDMA (As-)síncrono Multitaxa MC e MPG
Canal	AWGN
Modulação	BPSK Coerente
Seqüência	<ul style="list-style-type: none"> • Rndz32 • Gold31 Estendido ($N = 32$): adição de 1 chip na última posição Atrasos discretos em $\frac{T_c}{N_s}$ uniform. distrib. em $\tau_k \in \left[0, N - \frac{T_c}{N_s}\right]$
Detector	PIC de 3 estágios e G-SIC; cancelamento Total e Parcial
Decisor	$sign(\cdot)$ ou $\tanh(\cdot)$
Esimadores de Canal	<ul style="list-style-type: none"> • Amplitudes: média temporal amostras em MFB_{out} • Variância Ruído Total (PIC tanh): idem
Amostras/Chip	Número de amostras por chip: $N_s = 3$ (assínc.) e $N_s = 1$ (sínc.)
Formatação de Chip	Quadrada
Simulação	Monte Carlo (MCS) com intervalo de confiança melhor que 95% com 300 a 600 iterações/pto, dependendo do $\frac{E_b}{N_0}$ e $L = \frac{K}{N}$
Frame	20 a 300 bits LR (MPG) transmitidos, dependendo do $\frac{E_b}{N_0}$ e $L = \frac{K}{N}$

Tabela 5.1. Principais parâmetros de simulação Monte Carlo para sistemas multitaxa MPG e MC com detecção MuD PIC multistágio e G-SIC.

Os desempenhos dos sistemas multitaxa MPG e MC devem ser comparados tomando-se sempre o número de usuários efetivos, K_{Efet} . O número de usuários efetivos em um esquema multitaxa MC corresponde ao número total de canais paralelos necessários à transmissão de todos os usuários

multitaxa ativos (físicos) no sistema. Assim, por exemplo, seja a configuração LMHR1 na tabela 5.2; na transmissão de 10 usuários físicos de taxa R , 5 usuários físicos de taxa $2R$ e 3 usuários físicos de taxa $4R$ são necessários $10 \times 1 + 5 \times 2 + 3 \times 4 = 32$ códigos de espalhamento com ganho de processamento único $N = 32$. De forma equivalente, em termos de esquema multitaxa MPG, são necessárias, para a mesma quantidade e taxas de usuários físicos, 10 seqüências de espalhamento com $N = 32$ ($32/32 \times 10 = 10$ usuários efetivos), 5 seqüências de espalhamento com $N = 16$ ($32/16 \times 5 = 10$ usuários efetivos) e 3 seqüências de espalhamento com $N = 8$ ($32/8 \times 3 = 12$ usuários efetivos), resultando também em 32 usuários equivalentes ou efetivos MPG. Desta forma, a caracterização de desempenho será obtida considerando sistema média e altamente carregado, isto é considerando o carregamento efetivo para ambos os esquemas multitaxa: $L = 62,5\%$ ($K_{E\text{fet}} = 20$ usuários) e $L = 100\%$ ($K_{E\text{fet}} = 32$ usuários); apenas nos esquemas MPG a avaliação de desempenho $\overline{BER} \times K_{Fis}$ considerou o aumento da população física de usuários por grupo, resultando em carregamentos efetivos máximos muito maiores que 100%. A tabela mostra ainda a configuração para o número de usuários LR , MR e HR adotada na situação de carregamento variável. O resultado final são dois grandes conjuntos de configurações, um com K fixo e $\frac{E_b}{N_0}$ variável e o segundo com K variável e $\frac{E_b}{N_0}$ fixo, de tal forma a permitir uma completa caracterização de desempenho dos sistemas MuD IC–Multitaxa MC e MPG propostos na condição de controle perfeito de potência.

Configuração	Taxa	Núm. Usuários Físicos, K	N , Ganho de Process. MPG	Número Seqs. MC	Núm. Usuários Efetivos $K_{E\text{fet}}$
LR1	$R = 1/T$	32	32	32	32 ($L = 100\%$)
LMR1	$2R$ R	5 22	16 32	10 22	
LMHR1	$4R$ $2R$	3 5	8 16	12 10	
	R	10	32	10	
LR2	R	20	32	20	20 ($L = 62,5\%$)
LMR2	$2R$ R	4 12	16 32	8 12	
LMHR2	$4R$ $2R$	2 4	8 16	8 8	
	R	4	32	4	
K_{HR} Variável	$4R$	1 a K_{HR_Max} *	8	$4(1, \dots, K_{LR_Max})$	Variável (c/ mín. 7) ($L \approx 22\%$ a $> 100\%$)
	$2R$	K_{MR} (fixo)	16	$2K_{MR}$	
	R	K_{LR} (fixo)	32	K_{LR}	
K_{MR} Variável	$4R$	K_{HR} (fixo)	8	$4K_{HR}$	
	$2R$ R	1 a K_{MR_Max} * K_{LR} (fixo)	16 32	$2(1, \dots, K_{MR_Max})$ K_{LR}	
K_{LR} Variável	$4R$	K_{HR} (fixo)	8	$4K_{HR}$	
	$2R$	K_{MR} (fixo)	16	$2K_{MR}$	
	R	1 a K_{LR_Max} *	32	$(1, \dots, K_{LR_Max})$	

(*) $K_{HR_Max} = N + 1 - K_{LR} - K_{MR}$; $K_{MR_Max} = N + 1 - K_{LR} - K_{HR}$; $K_{LR_Max} = N + 1 - K_{MR} - K_{HR}$

Tabela 5.2. Especificação para as taxas de bits dos usuários multitaxa MPG e MC; conjuntos de seqüências de espalhamento PN ou Gold Estendido com $N=32$

Finalmente, para a caracterização do ambiente com desbalanceamento de potência recebida, a tabela 5.3 apresenta uma síntese para as configurações *near-far* utilizadas nas simulações Monte Carlo. Foi considerado o efeito do desbalanceamento de potência fixo de um único usuário com taxa de dados específica sobre a taxa de erro de bits média dos demais usuários com $\frac{E_b}{N_0}$ variável, bem como o efeito do desbalanceamento de potência no intervalo $[-15; +25]$ dB de um ou dois usuários de mesma taxa, caracterizando a robustez *near-far*; nesta última situação, a relação sinal-ruído do sistema foi mantida fixa, resultando em $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB; em alguns casos considerou-se o desempenho para $\frac{E_b}{N_0} = 9$ ou 10 dB.

Configuração <i>Near-Far</i> [dB]	Número de Usuários Multitaxa Interferentes		
	us. LR	us. MR	us. HR
$NFR = 0$	todos usuários		
	1	0	0
$NFR = +3$;	0	1	0
$NFR = +5$;	0	0	1
$NFR = +10$	1	1	1
$NFR = +3$	$K_{LR} - 1$	0	0
	0	$K_{MR} - 1$	0
	0	0	$K_{HR} - 1$
	1	1	1
-15 a +25 robustez <i>near-far</i>	1 ou 2	0	0
	0	1 ou 2	0
	0	0	1 ou 2

Tabela 5.3. Configurações para controle imperfeito de potência (NFR) empregadas nas simulações MCS de sistemas multitaxa MPG e MC e detecção IC

A integração dos parâmetros considerados anteriormente em um único menu pode ser vista nas figuras 5.1 e 5.2. A partir destes menus é possível alterar rapidamente os diversos parâmetros de simulação Monte Carlo dos sistemas MuD IC–Multitaxa MC/MPG. Estão disponíveis as opções de configuração do número de usuários em cada uma das 3 taxas, como especificado na tabela 5.2, ganho de processamento, número de amostras/chip, tipo de sequência de espalhamento (PN, Gold Estendido, Kasami–S Estendido), razão *near-far* dos interferentes (configuração *NFR*), número de realizações/ponto Monte Carlo e faixa de E_b/N_0 de operação do sistema. No caso de canal com desvanecimento Rayleigh, o simulador de canal baseado no modelo de Jakes modificado, descrito na seção 2.6.5.2, foi integrado ao menu, permitindo a escolha do perfil de canal e a geração do conjunto de coeficientes correspondente; evidentemente, para canal Rayleigh Plano há apenas um raio com o conjunto de coeficientes de valor médio quadrático normalizado e igual a 1.

Após a configuração de todos os parâmetros de entrada, o menu permite a seleção para simulação Monte Carlo de uma das cinco estruturas IC–Multitaxa com opções de canal AWGN síncrono ou

assíncrono ou Rayleigh Plano assíncrono. Finalmente, é possível obter os desempenhos destas estruturas em termos de taxa de erros de bit média sobre os usuários fracos, quer seja em função da população de usuários crescente quer seja em função da variação de E_b/N_o do sistema; para canais assíncronos, é possível ainda obter a robustez *near-far* considerando um ou dois usuários com NFR em uma ampla faixa de valores.

Os esquemas IC–Multitaxa propostos empregam decisores *soft* $\tanh(\cdot)$ uma vez que, como mostrado na seção 3.1, o desempenho resultante dos canceladores de interferência paralelos em canal AWGN com este tipo de decisor é claramente superior em relação aos PIC com decisores *hard* ou *soft* linear ilimitado. No caso do cancelamento parcial os coeficientes ξ não foram otimizados uma vez que isto acarretaria complexidade adicional dos algoritmos, principalmente no que tange ao tempo de simulação MCS, com sessões já bastantes longas em canal assíncrono. No entanto, dado a similaridade das topologias, em alguns casos, como o esquema multitaxa MC–PIC, os valores de ξ obtidos a partir de busca iterativa não exaustiva na seção 3.1 puderam ser aproveitados diretamente no cancelamento paralelo parcial multiestágio.

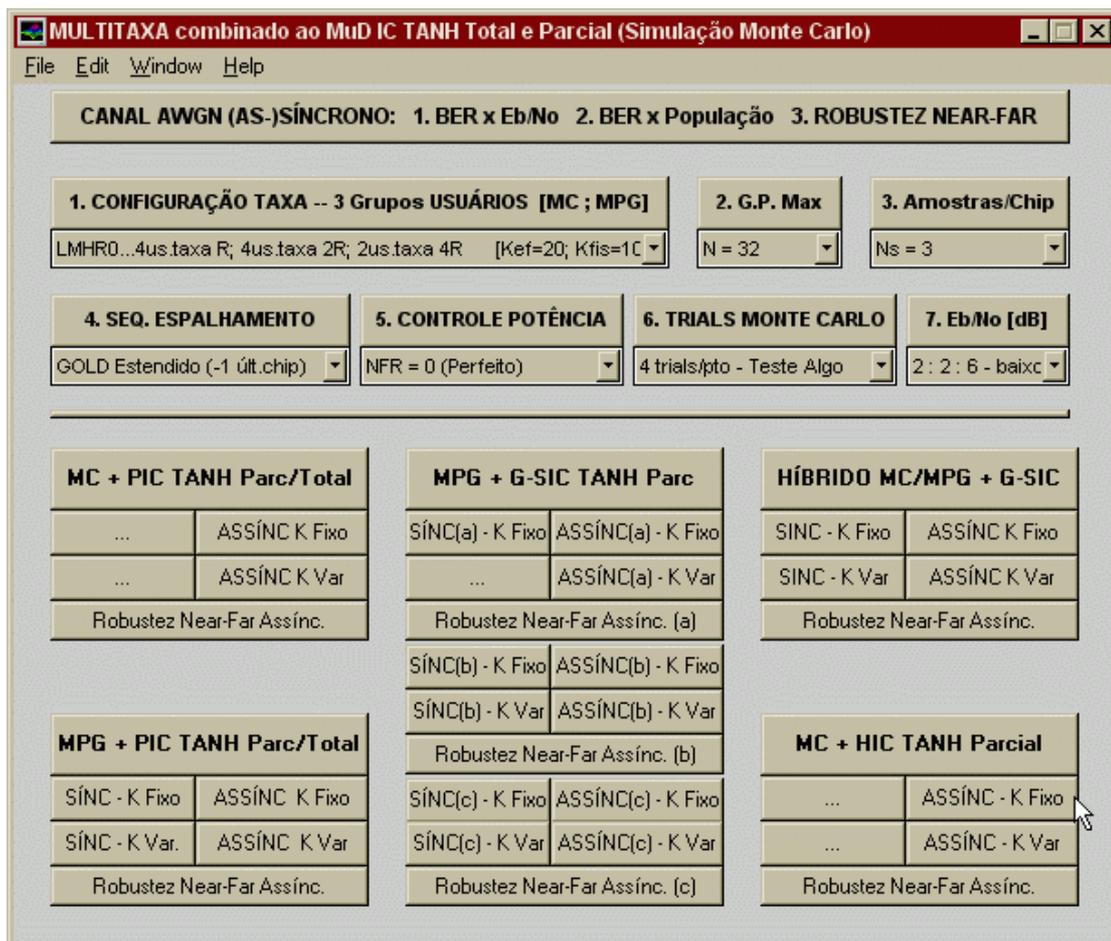


Figura 5.1. Menu para simulação Monte Carlo de sistemas multitaxa (3 taxas) MC e MPG com detecção IC Tanh e HD em canal AWGN (as-)síncrono; ambiente MatLab5.0

MULTITAXA combinado ao MuD IC TANH Total e Parcial em Canal RAYLEIGH (Sim Monte Carlo)

File Edit Window Help

CANAL RAYLEIGH PLANO ASSÍNCRONO: 1. BER x Eb/No 2. BER x População 3. ROBUSTEZ NEAR-FAR

1. CONFIGURAÇÃO TAXA -- 3 Grupos USUÁRIOS [MC ; MPG] **2. G.P. Max** **3. Amostras/Chip**
 LMHR1...10us.taxa R; 5us.taxa 2R; 3us.taxa 4R [Kef=32; Kfis=18] N = 32 Ns = 3

4. SEQ. ESPALHAMENTO **5. CONTROLE POTÊNCIA** **6. TRIALS MONTE CARLO** **7. Eb/No [dB]**
 GOLD Estendido (-1 últ.chip) 1o. us. LR, MR e HR: +10d 600 trials/pto 0 : 2 : 14 - full

8. PERFIL DE CANAL RAYLEIGH LENTO. Vped = 5Km/h; Vcar = 120Km/h

Perfil do Canal	Ambiente, Tm	<Ck^2>	Atraso Relativo	Seletivo em Freq
Plano (FLAT, pedestre)	subúrbio, 0.5us	[1]	[0]	NÃO

MC + PIC TANH Parc/Total **MPG + G-SIC TANH Parc** **HÍBRIDO MC/MPG + G-SIC**
 Assínc - K Fixo Assínc - K Var. Assinc(a) - K Fixo Assinc(a) - K Var Assinc. K Fixo Assinc. K Var
 Robustez Near-Far Assínc. Robustez Near-Far Assínc. (a) Robustez Near-Far Assínc.

MPG + PIC TANH Parc/Total **MC + HIC TANH Parcial**
 Assínc - K Fixo Assínc - K Var. Assinc(b) - K Fixo Assinc(b) - K Var Assinc. K Fixo Assinc. K Var
 Robustez Near-Far Assínc. Robustez Near-Far Assínc. (b) Robustez Near-Far Assínc. (c) Robustez Near-Far Assínc. (c) Robustez Near-Far Assínc.

Figura 5.2. Menu para simulações Monte Carlo em canal Rayleigh com opções para escolha de parâmetros e topologia do receptor assíncrono MuD IC–Multitaxa. Algoritmos implementados apenas para Rayleigh Plano.

Desempenhos melhorados são obtidos com a utilização de códigos de espalhamento determinísticos de boas propriedades de correlação, tais como os tradicionais conjuntos de Gold e Kasami. No entanto, o emprego deste códigos limitará o número de usuários multitaxa MC, principalmente se a razão de m_g for elevada, o que implica na utilização de um grande número de seqüências para cada usuário HR (igual a m_{HR}). Uma opção é empregar conjunto extra grande de seqüências de Kasami (*Very Large Kasami*), como proposto no padrão W-CDMA, seção 4.6. A outra é considerar o *uso de seqüências puramente randômica* (Rndz); no entanto, esta opção deteriora o desempenho do sistema IC–Multitaxa. Compare-se a redução no desempenho do sistema multitaxa MC–PIC Tanh com cancelamento parcial e total em canal AWGN assíncrono empregando-se seqüências Rndz32 da figura 5.5 em relação às de Gold31 estendidas, figura 5.4. Analogamente, para as demais topologias foram comprovadas reduções de desempenho com a utilização de seqüências PN. Portanto, no restante desta análise não serão considerados desempenhos obtidos a partir de conjuntos de códigos de espalhamento randômicos.

Os resultados apresentados neste capítulo tratam apenas de sistemas com seqüências de Gold estendidas com o último chip igual a (-1) ou $(+1)$, uma vez que a conclusão obtida na seção 4.6.1.1 foi confirmada comparando-se desempenhos MCS para cada receptor IC–Multitaxa com seqüências de Gold estendidas e o último *chip determinístico* \times *randômico*. Para cada receptor, os desempenhos obtidos mostraram-se inferiores com o último chip randômico em relação à situação de último chip determinístico, sendo que, nesta condição, os desempenhos para o último chip igual a (-1) são equivalentes aos obtidos com o último chip igual a $(+1)$.

Na análise e comparação de desempenhos dos sistemas IC–Multitaxa em canais AWGN a seguir serão considerados apenas sistemas *assíncronos*. Esta escolha se justifica uma vez que para sinais multitaxa MC em canal síncrono, a adoção de seqüências determinísticas estendidas com o último chip fixo em $(+1)$ ou (-1) conduziria a uma comparação artificial e inadequada em relação ao esquema MPG, uma vez que em canal síncrono as seqüências de Gold31 Estendida de fase preferencial aplicadas ao esquema MC resultariam todas ortogonais, seção 4.6.1.1; portanto, o desempenho resultante para qualquer carregamento é idêntico ao limite *single user*. Esta condição de ortogonalidade para as seqüências de Gold31 Estendida na fase preferencial não se mantém para a estrutura de sinais MPG, uma vez que para cada grupo de usuários de taxa distinta há um ganho de processamento específico. Isto pode ser evidenciado, por exemplo, através do desempenho alcançado por um sistema MPG–PICw síncrono, distinto do limite SuB, nas figuras 5.12 ou 5.13. A condição de ortogonalidade pode ser recuperada empregando-se códigos OVSF, seção 4.5.2. No entanto, esta condição de canal síncrono além de ser muito particular e restritiva, no caso da adoção de seqüências estendidas inviabiliza qualquer comparação de desempenho em canal AWGN envolvendo o esquema MC. Portanto a situação mais próxima dos casos práticos é considerar sinais transmitidos assíncronos com atrasos discretos em N_s e uniformemente distribuídos no intervalo $\left[0; N - \frac{1}{N_s}\right]$; adotou-se aqui $N_s = 3$.

Finalmente, foram assumidas *estimativas perfeitas para os parâmetros de canal*. Embora em sistemas práticos esta condição não se verifique, aqui esta hipótese se justifica uma vez que o objetivo é comparar o potencial desempenho das cinco topologias IC–Multitaxa propostas. Dada a quantidade de variáveis a serem analisadas e comparadas, erros nas estimativas dos parâmetros de canal podem ser incluídos em uma etapa posterior da análise, considerando então as duas ou três estruturas mais promissoras em canal AWGN com estimativas imperfeitas para os principais parâmetros de canal.

5.2 Multitaxa MC associado ao Cancelamento de Interferência Paralelo

A figura 5.3 apresenta um esquema pós-deteccção multitaxa assíncrono do tipo código múltiplo para 3 taxas de dados, R , $2R$ e $4R$, empregando cancelamento de interferência paralelo com decisor Tanh Total e Parcial, **MC-PIC Tanh**. A estrutura para a deteccção dos sinais é semelhante ao PIC pós-deteccção da seção 2.4.4.5. Empregando-se cancelamento PIC Tanh multiestágio, após passarem pelo banco de filtros casados às respectivas seqüências (MFB), os sinais dos usuários multitaxa MC são detectados, reconstruídos e parcial ou totalmente cancelados à saída do MFB de forma semelhante a um PIC pós-deteccção multiestágio; exceto que aqui as estimativas finais dos canais paralelos para cada usuário com taxa maior que R devem ser multiplexadas no tempo afim de obter a correta reconstituição temporal das informações.

Na figura 5.3 está exemplificado o caso da deteccção de seis usuários, sendo dois de taxa $2R$ e um de taxa $4R$. O decisor SD do tipo tanh requer estimativas para a amplitude e para a variância do ruído total a cada estágio s , além das estimativas tradicionais para atraso e fase da portadora.

Na avaliação de desempenho foram considerados o cancelamento total e parcial em 3 estágios, sendo a cada estágio de cancelamento parcial atribuídos coeficientes idênticos para todos os sinais dos usuários multitaxa, mesmo sob efeito *near-far*. Foram escolhidos após algumas tentativas os seguintes valores de ponderação para cancelamento $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$. Mesmo para coeficientes não otimizados, os resultados mostram o melhor desempenho do cancelador Tanh parcial em relação ao total.

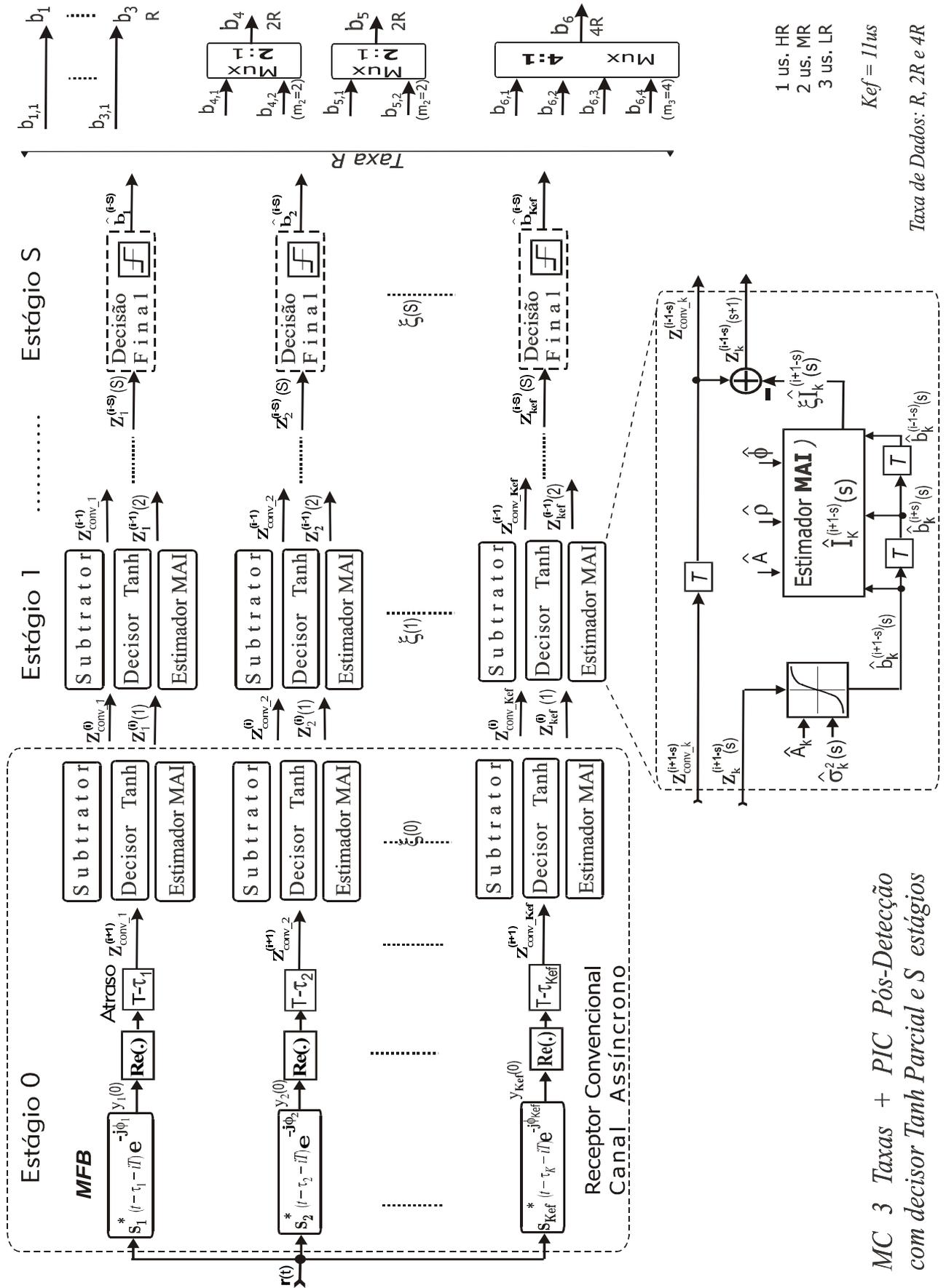


Figura 5.3. Esquema para detecção de 6 usuários MC de tripla taxa (1us HR, 2us MR e 3us LR) empregando detector PIC pós-detecção de S estágios e decisor Tanh, resultando em $K_{Efe} = 11$ usuários efetivos.

5.2.1 MC–PIC Tanh com usuários de taxa R, 2R e 4R em canal AWGN Assíncrono

Resultados de simulação MCS para o detector **MC–PIC Tanh** em canal AWGN assíncrono considerando seqüências de Gold31 e randômicas Rndz32 foram obtidos para carregamento efetivo de sistema igual $L = 100\%$ e $\approx 65\%$. Todos os resultados indicam melhor desempenho com o cancelamento Tanh parcial.

Desempenho superior é obtido com seqüências determinísticas estendidas em relação às PN; por exemplo, para $L = 100\%$ e controle perfeito de potência, compare-se o melhor desempenho médio sobre todos os usuários de mesma taxa após 3 estágios canceladores obtido na figura 5.4 com o da figura 5.5. Portanto, daqui para frente serão consideradas apenas seqüências de Gold estendidas. Em cada figura é mostrado o desempenho médio por taxa, LR, MR e HR, sendo então reproduzidos novamente no gráfico da direita inferior visando uma comparação mais precisa de desempenho dos usuários com distintas taxas.

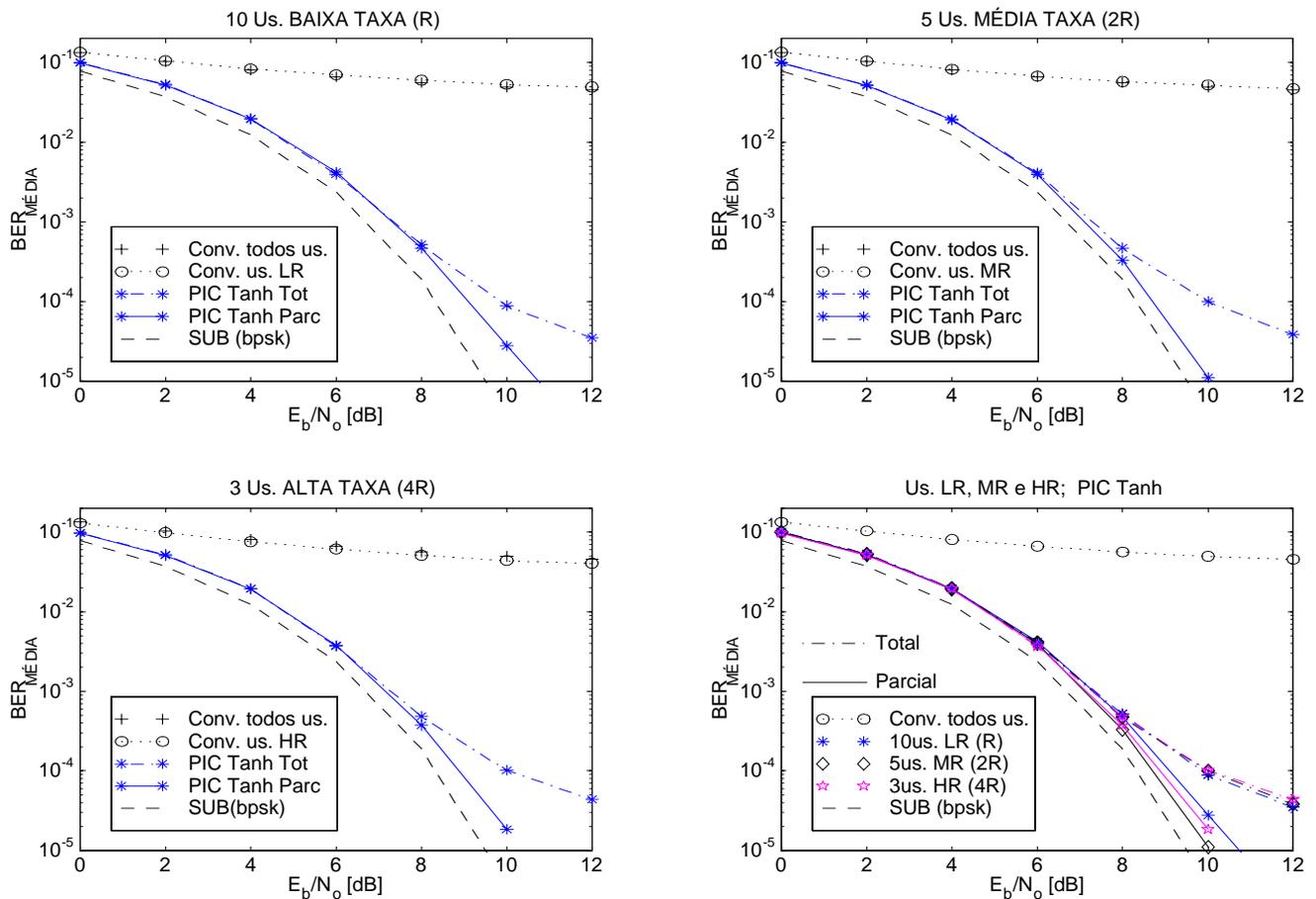


Figura 5.4. Seqüências Gold31 estendidas em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono com 3 grupos de usuários e 3 estágios canceladores. $K_{Efet} = 32us$, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $NFR = 0dB$.

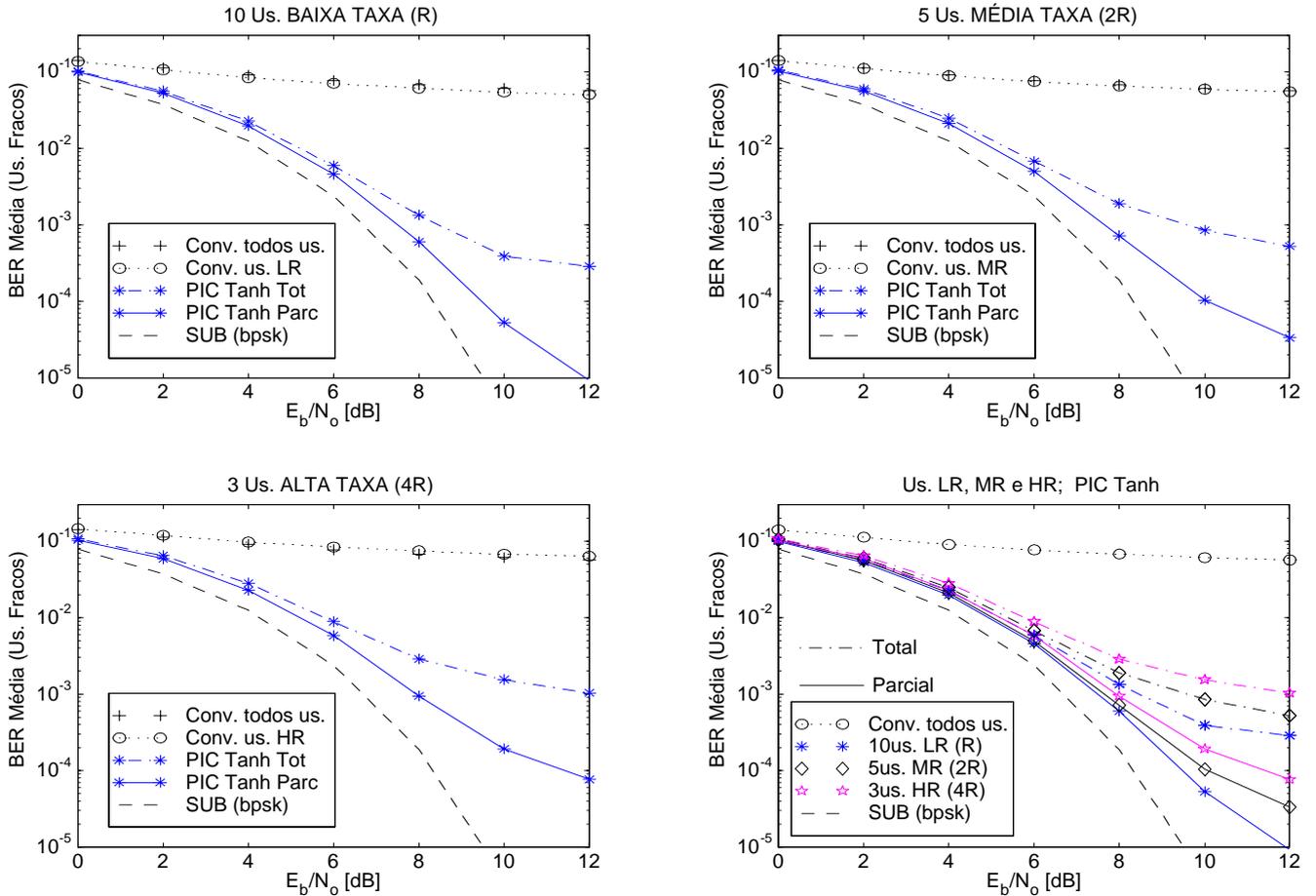


Figura 5.5. Sequências PN de comprimento $N = 32$ em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono com 3 grupos de usuários e 3 estágios canceladores. $K_{E_{fet}} = 32us$, $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ e $NFR = 0dB$.

Já a figura 5.6 mostra a melhoria no desempenho médio do detector MC–PIC Tanh quando o carregamento é reduzido de $K_{E_{fet}} = 32$ para $K_{E_{fet}} = 21$. Note-se que devido ao controle perfeito de potência e à hipótese de estimativas exatas para os parâmetros de canal, assumida em todas as simulações MCS neste capítulo, o desempenho do detector MC–PIC Tanh assíncrono com seqüências Gold estendidas após 3 estágios canceladores para sistema medianamente carregado aproxima-se do limite *single user*. Como em MC os canais paralelos de um mesmo usuário experimentam idênticos atrasos (mesmas condições de canal), a adoção de seqüências de Gold estendidas resultará na redução da MAI total devido à ortogonalidade obtida nos canais paralelos de um mesmo usuário. Mantido constante o número de usuários efetivos, $K_{E_{fet}}$, esta redução será maior quanto maior for o número de usuários de maior taxa, implicando em maior número de seqüências ortogonais. O caso limite ideal é um sistema perfeitamente síncrono com seqüências de Gold estendidas (conjunto Gold ortogonal), onde a interferência MAI seria virtualmente zero, resultando no desempenho SUB para qualquer carregamento.

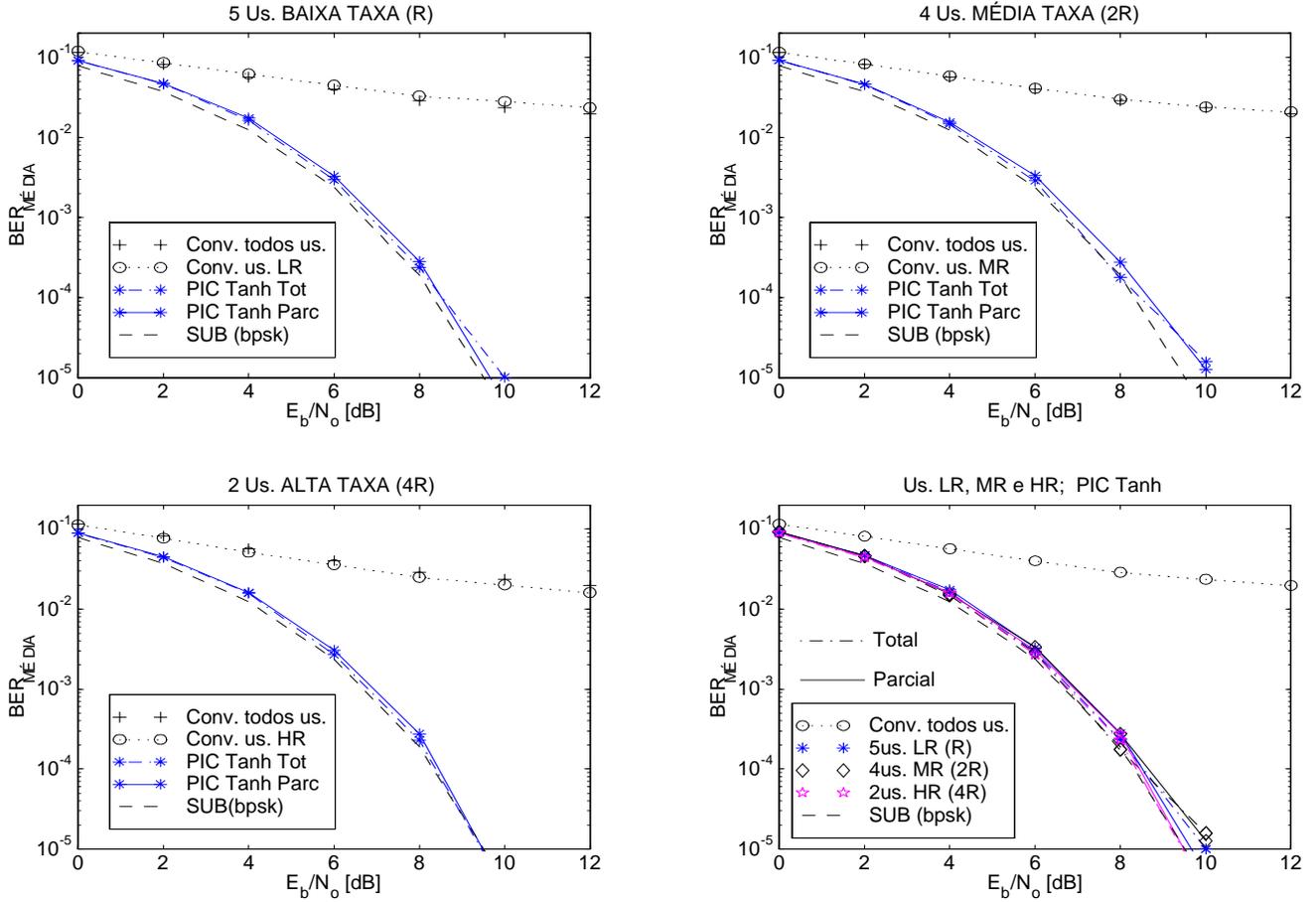


Figura 5.6. Carregamento médio, $K_{E_{fet}} = 21us$, com seqüências de Gold31 estendido em multitaxa MC–PIC Tanh assíncrono de 3 estágios canceladores e controle perfeito de potência.

O comportamento para o desempenho médio sobre todos os usuários de mesma taxa ($NFR = 0$) em função do aumento da população, mantidos os usuários dos demais grupos fixos, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e mesmos parâmetros de sistema definidos anteriormente está sintetizado na figura 5.7. Como esperado, há uma sensível melhoria de desempenho quando o cancelamento é realizado em múltiplos estágios (indicado por 1stg e 3stg na figura⁷¹). O desempenho médio obtido com o terceiro estágio, tanto para cancelamento parcial quanto para total, não sofre degradação apreciável com o aumento do carregamento do sistema multitaxa.

Observe-se ainda que devido à não otimização dos fatores ξ ocorre a inversão no desempenho médio obtido com o cancelamento parcial, sendo, para os valores ξ escolhidos, superior ao cancelamento total multiestágio apenas na região de alto carregamento. Evidentemente, como mostrado na seção 2.4.4.2, a otimização de ξ depende do carregamento e da relação sinal-ruído do sistema. Portanto pode-se afirmar que os valores adotados aqui para $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$ estão próximos aos valores ótimos para carregamentos na região $L = 100\%$.

⁷¹ Nas figuras que se seguem, às vezes por falta de espaço, "stg" é ainda abreviado por "s".

O quarto gráfico da figura 5.7 mostra, para o terceiro estágio cancelador, a similaridade de desempenho médio entre usuários de taxas distintas. Estão indicados ainda o desempenho médio por grupo (lr, mr e hr nos gráficos) para o detector Convencional. Para o primeiro estágio, uma rápida comparação dos três primeiros gráficos da mesma figura mostra desempenhos médios também bastante próximos entre usuários das três taxas. Isto se deve às características do esquema MC adotado, permitindo uma simetria no processo de cancelamento paralelo de todos os sinais multitaxa.

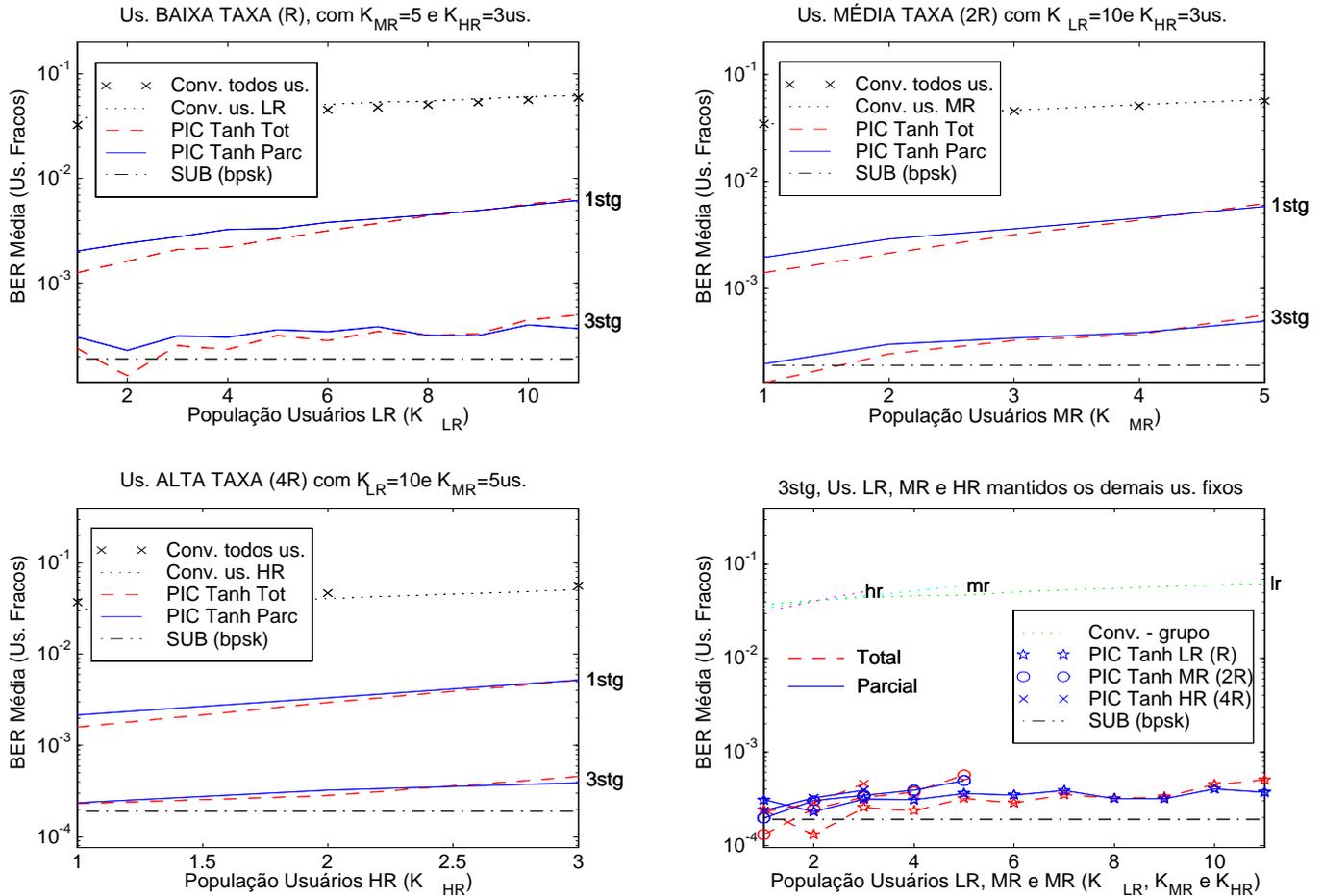


Figura 5.7. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC–PIC Tanh assíncrono com controle perfeito de potência, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e Gold31 Estendido. $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

Desempenhos médios para interferentes com desajuste de potência ($NFR \neq 0$) foram obtidos considerando a robustez *near-far* em um MC–PIC Tanh assíncrono e estão sintetizados nas figuras 5.8, 5.9 e 5.10; nestes gráficos e nos que se seguem, indica-se o limite $10Pe^{SUB}$ por $10x$.

Devido à não otimização dos coeficientes ξ , melhores desempenhos médios para o primeiro e terceiro estágios foram obtidos com o cancelamento total quando o sistema opera com $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$, tanto para carregamento médio, figura 5.8, quanto para $L = 100\%$, figura 5.9. No entanto esta situação pode ser invertida otimizando-se os fatores de cancelamento ou deslocando o ponto de

operação do sistema, por exemplo fazendo-se $\frac{E_b}{N_0} = 9\text{dB}$; para este ponto e considerando sistema altamente carregado, a figura 5.10 mostra o melhor desempenho do cancelamento parcial sobre o total para uma ampla faixa de NFR , além de resultar em maior robustez *near-far* no terceiro estágio para os três grupos de usuários: $\Upsilon^{LR} = 17\text{dB}$, $\Upsilon^{MR} = 15\text{dB}$ e $\Upsilon^{HR} = 12\text{dB}$.

Genericamente, os resultados para a robustez *near-far* indicam que mesmo para sistemas altamente carregados a estrutura MC–PIC Tanh multiestágio assíncrono é capaz de operar satisfatoriamente sob forte efeito *near-far* de um ou dois usuários. Para sistemas com carregamentos médios, figura 5.8, a robustez *near-far* será ainda maior, podendo suportar pelo menos um usuário com $NFR > +25\text{ dB}$.

Vale lembrar a obtenção de ganhos expressivos de desempenho com as estruturas IC–Multitaxa sobre o receptor Convecional multitaxa, mesmo considerando apenas um estágio cancelador.

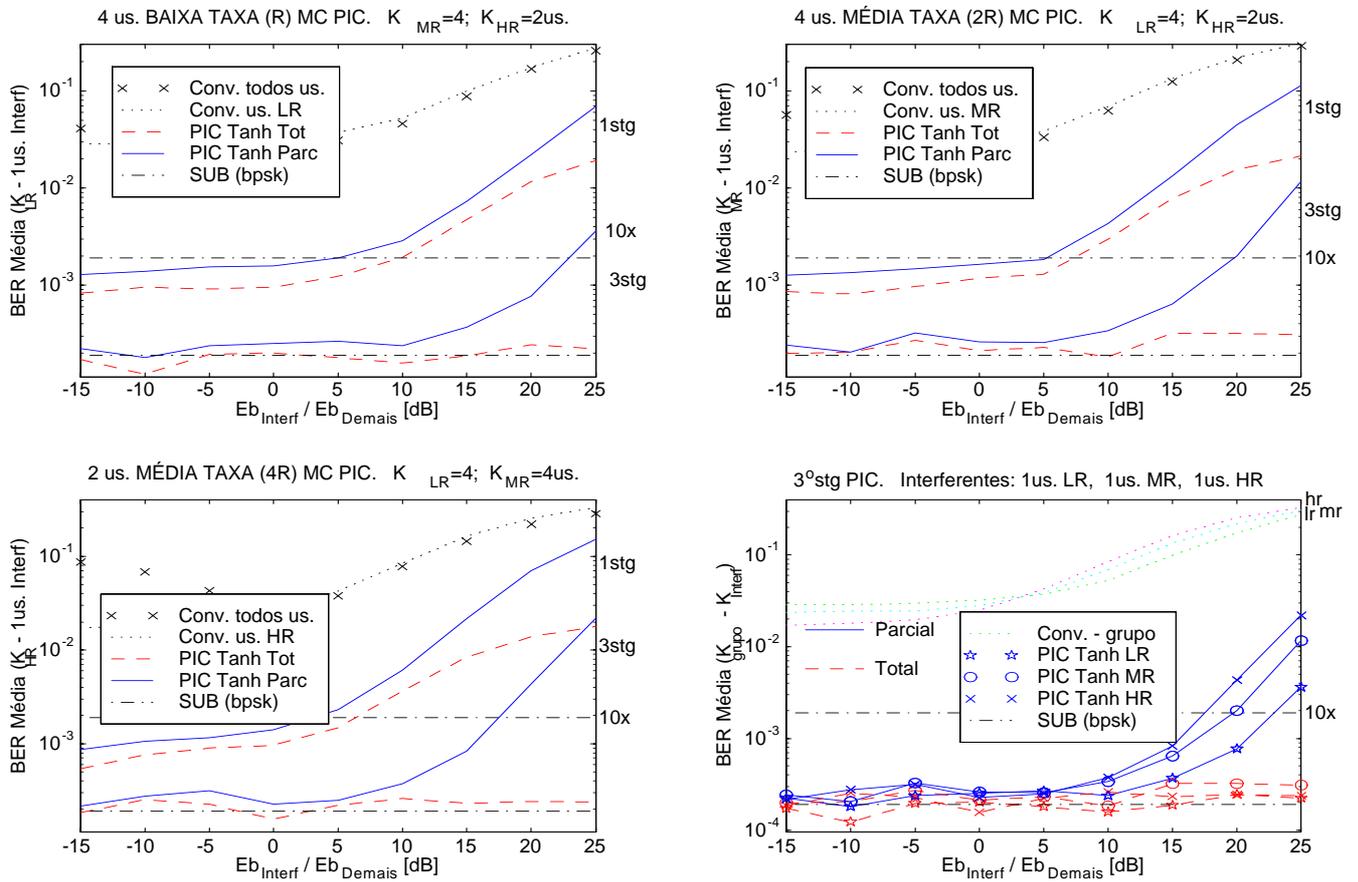


Figura 5.8. Robustez *near-far* para MC–PIC Tanh assíncrono com $L = 62, 5\%$. Sequências de Gold31 estendido, $\frac{E_b}{N_0} = 8\text{dB}$ e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

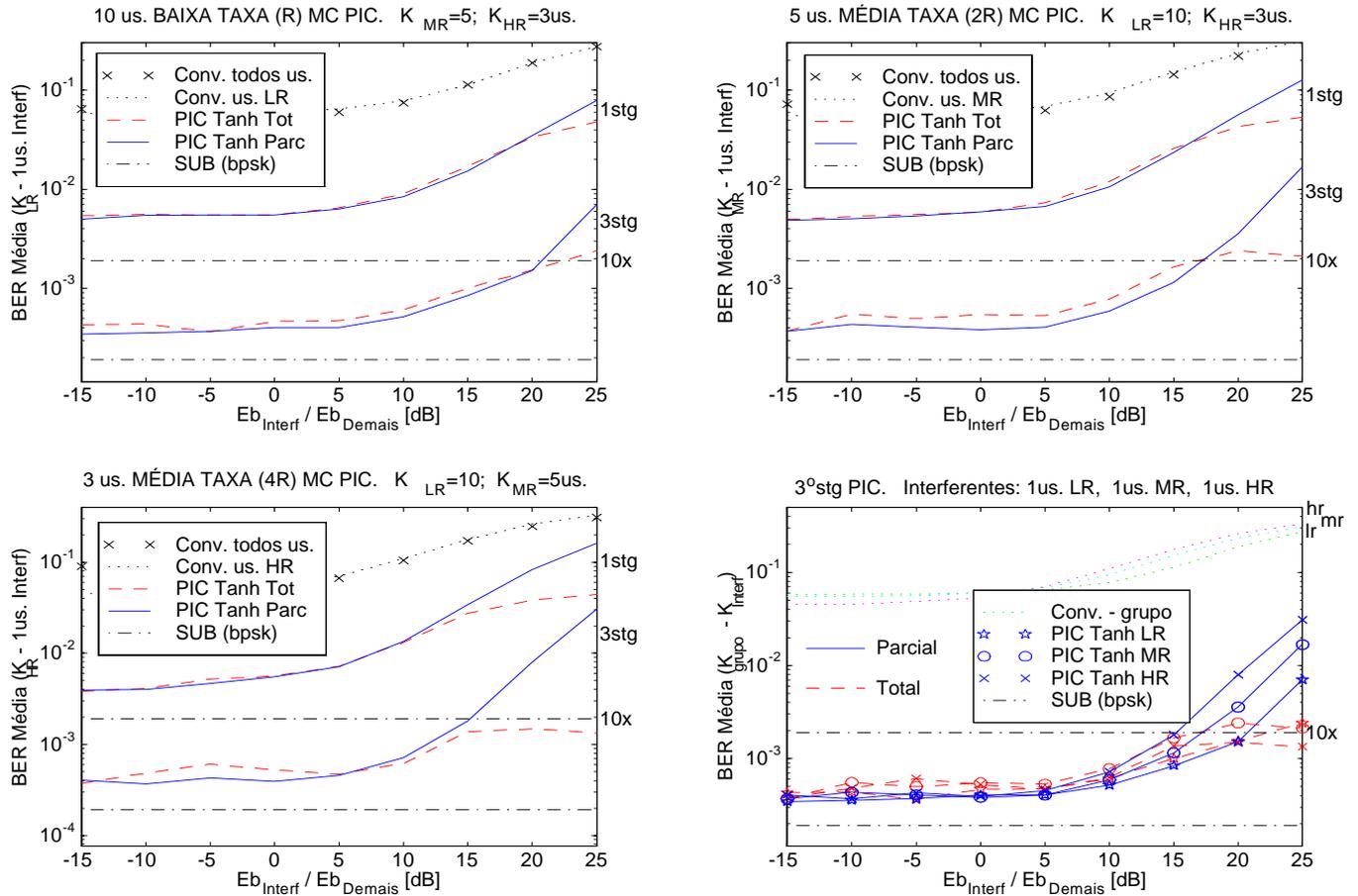


Figura 5.9. Robustez *near-far* para MC-PIC Tanh assíncrono com $L = 100\%$. Sequências de Gold31 estendido, $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$ e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

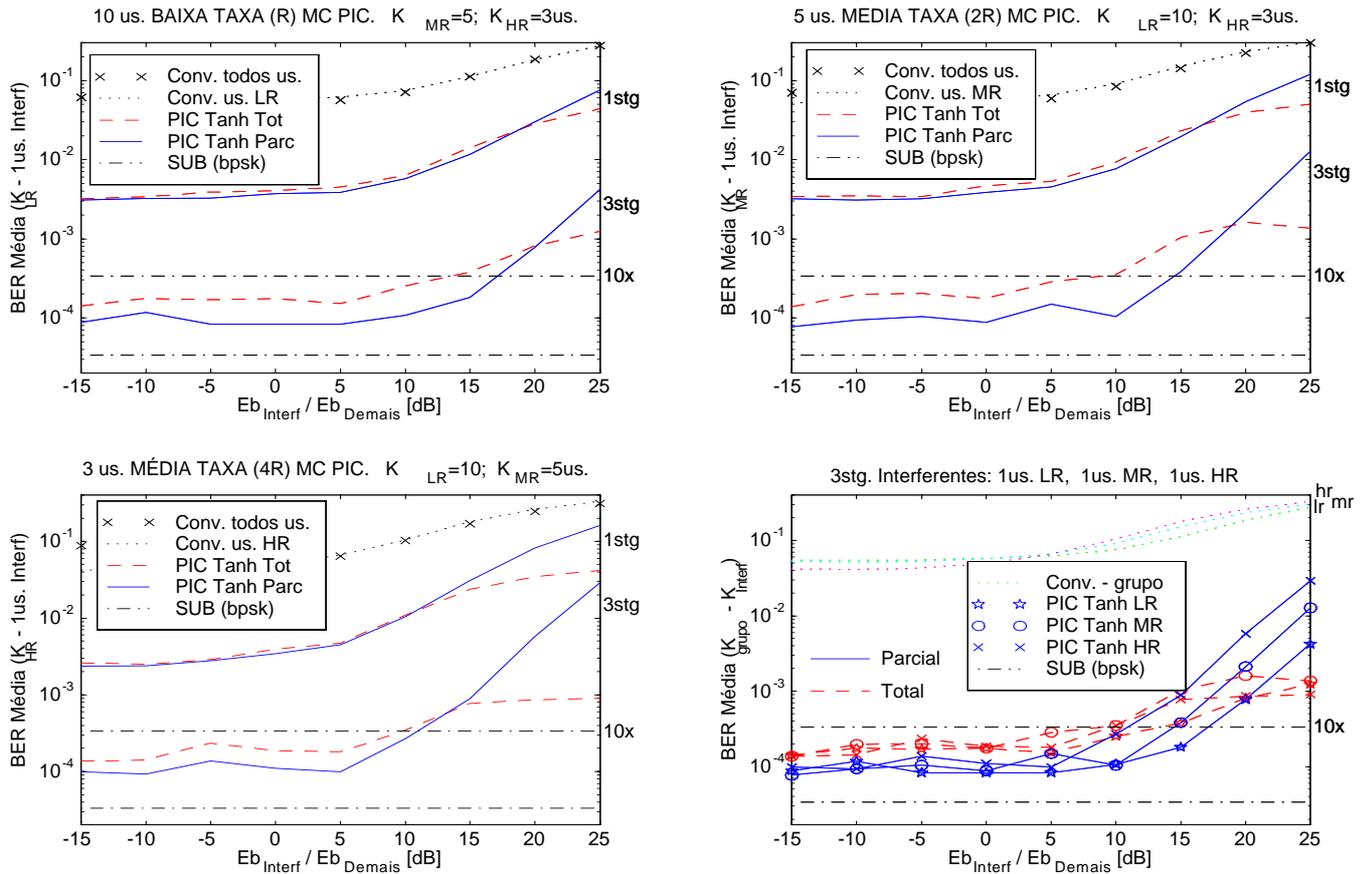


Figura 5.10. Robustez *near-far* para MC-PIC Tanh assíncrono considerando $\frac{E_b}{N_0} = 9dB$. Demais parâmetros idênticos ao da figura 5.9.

5.3 Multitaxa MPG associado ao Cancelamento de Interferência Paralelo Ponderado por Grupo

Em um sistema de múltipla taxa MPG dividindo-se os usuários em três grupos, os de baixa taxa, LR, média taxa MR e os de alta taxa, HR, múltiplos de LR, pode-se mostrar que o sistema é equivalente a um de única taxa, no qual cada usuário MR e HR pode ser modelado a m_g usuários de baixa taxa, assumindo neste caso os valores $m_{HR} = \frac{HR}{LR}$, $m_{MR} = \frac{MR}{LR}$ e $m_{LR} = 1$, com $m_g =$ razão de taxa do g -ésimo grupo, admitido um número inteiro. Desta forma, o número total de usuários efetivos (ou virtuais) neste sistema MPG de tripla taxa será $K_{Efect} = K_{LR} + m_{MR}K_{MR} + m_{HR}K_{HR}$.

Uma vez que na transmissão dos sinais multitaxa em um esquema MPG há a geração natural de um indesejado efeito *near-far* dos usuários com taxas maiores que a básica, dadas neste caso por $A_{HR} = 2A_{LR}$; $A_{MR} = \sqrt{2}A_{LR}$, como analisado na seção 4.3, a utilização do cancelador de interferência paralelo multiestágio parcial na detecção dos sinais multitaxa deve agora ser modificado

afim de levar em conta estas diferenças nas amplitudes dos sinais pertencentes a grupos de usuários de taxas distintas. Como os valores dos coeficientes ξ são diretamente proporcionais ao grau de confiança dos sinais detectados, então para um estágio cancelador específico deve-se ter um coeficiente maior para usuários do grupo de maior taxa, pois resultam em sinais transmitidos de maior amplitude e um menor coeficiente para usuários de menor taxa. Para um sistema de tripla taxa afim de melhor detectar usuários de baixa taxa, [Meeteren 99] concluiu que devem ser obedecidas as seguintes relações para os fatores de cancelamento de grupo multitaxa considerando detector PIC–HD:

$$1 > \xi_{HR}^2 > \xi_{MR}^2 > \xi_{LR}^2 > 0 \quad (5.2a)$$

$$\xi_{HR}^2 - \xi_{MR}^2 \approx \xi_{MR}^2 - \xi_{LR}^2 \approx \frac{\xi_{HR}^2 - \xi_{LR}^2}{2} \quad (5.2b)$$

Esta relações para os coeficientes de cancelamento dos diferentes grupo multitaxa foram obtidas em [Meeteren 99] após intensa simulação MCS, não sendo justificada por nenhuma análise teórica.

Aplicando estas relações a um esquema multitaxa MPG com cancelamento de interferência paralelo multiestágio ponderado por grupo de usuários multitaxa, denominado aqui **MPG–PICw Tanh**, obteve-se o esquema da figura 5.11 considerando usuários de tripla taxa, LR, MR e HR. Note-se no detalhe da figura que a estimativa da MAI em cada estágio é realizada a cada período de dados dos usuários de alta taxa, T_{HR} , uma vez que há mudanças de dados (e decisões de dados devem ser feitas) a cada $\min\{T_{HR}, T_{MR}, T_{LR}\}$; para os sinais dos usuários de taxa média e baixa haverá a reconstrução e cancelamento *soft* da MAI, baseado em estimativas *soft* para a amplitude e o sinal de $b_k(s)$, uma vez que a base de integração é feita igual a T_{HR} . Decisões *hard* a serem utilizadas no próximo estágio cancelador (ou finais) são obtidas integrando-se as decisões parciais nos casos dos usuários com taxas menores que a máxima. Assim, para usuários *MR* e *LR* adotou-se a estratégia, analisada na seção 4.3, denominada aqui **estimativa soft** para a reconstrução e cancelamento da MAI, reduzindo sensivelmente a taxa de erro de bit dos usuários de taxas média e alta. Compare-se a melhoria de desempenho médio obtida para os grupos *HR* e *MR* empregando-se estimativas *soft* em um esquema multitaxa MPG–PICw Tanh *síncrono* de três estágios, figura 5.12, face à não aplicação das estimativas *soft* na reconstrução da MAI dos usuários multitaxa *LR* e *MR*, figura 5.13.

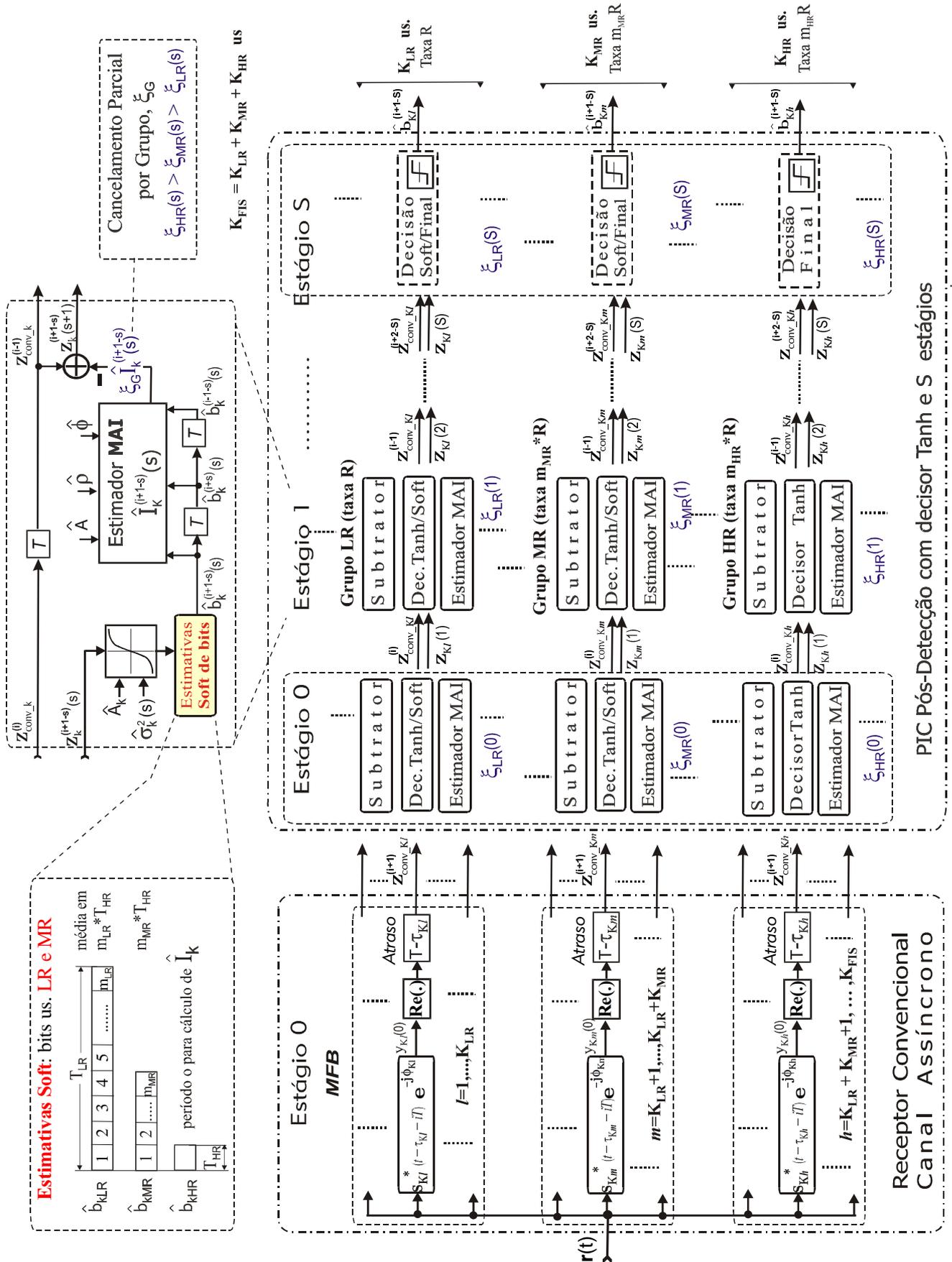


Figura 5.11. Esquema genérico para o detector MPG-PICw com três grupos de usuários de taxas distintas a partir do esquema MPG associado ao detector PIC Tanh pós-deteccção de S estágios com cancelamento parcial por grupo. Estimativas soft para os bits dos usuários LR e MR.

Seguindo (5.2b), os resultados analisados nesta seção foram obtidos adotando-se os seguintes fatores de cancelamento para o MPG–PICw Tanh Parcial de quatro estágios, com a notação $\xi_{stg} = [\xi_{LR}; \xi_{MR}; \xi_{HR}]$

$$\begin{aligned} \xi_1 &= [0, 67; 0, 69; 0, 74]; & \xi_2 &= [0, 77; 0, 84; 0, 89]; \\ \xi_3 &= [0, 89; 0, 93; 0, 96]; & \xi_4 &= [0, 95; 0, 97; 0, 99]. \end{aligned}$$

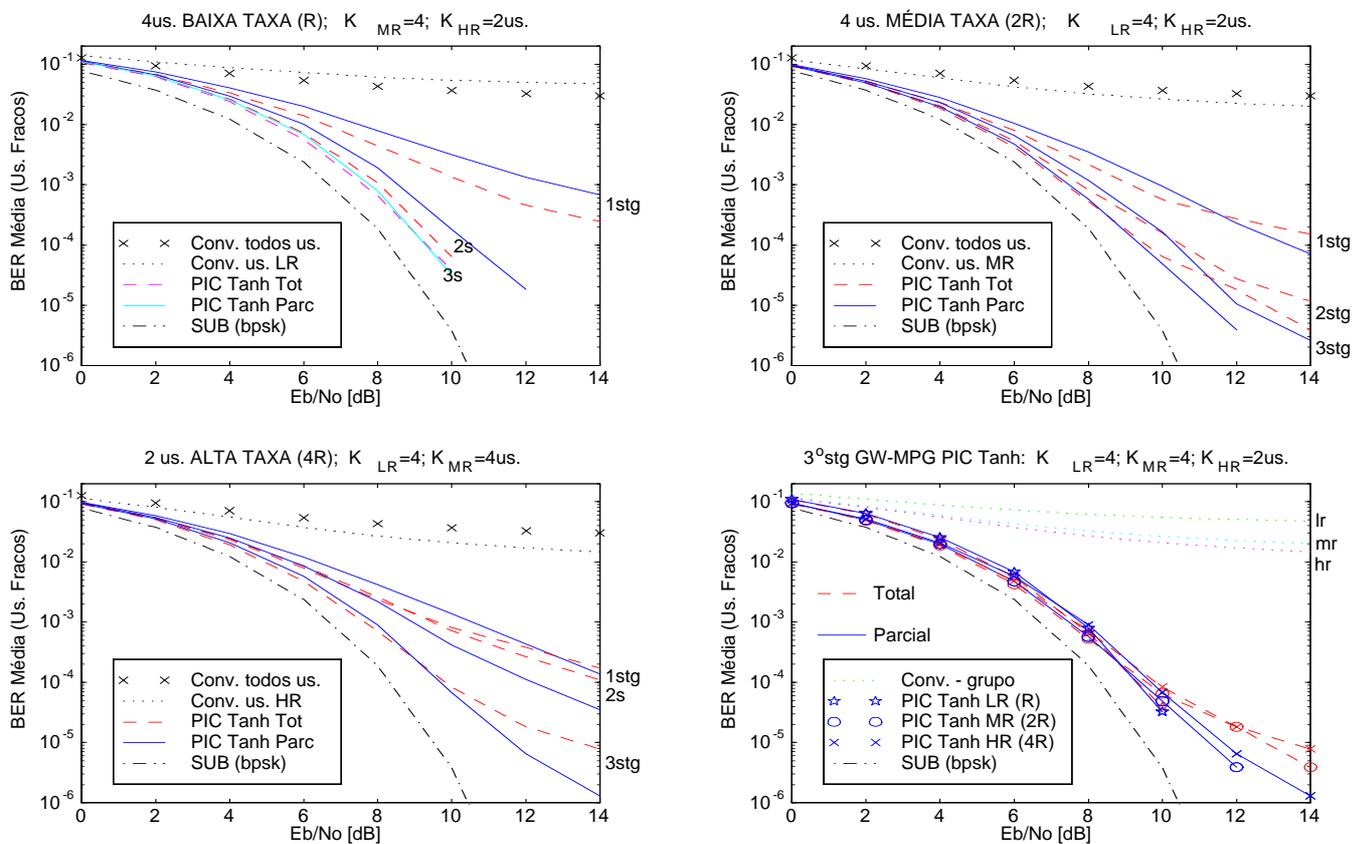


Figura 5.12. MPG–PICw Tanh *síncrono* com *estimativas soft* de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e $K_{Ejet} = 20us$. ξ distintos por grupo.

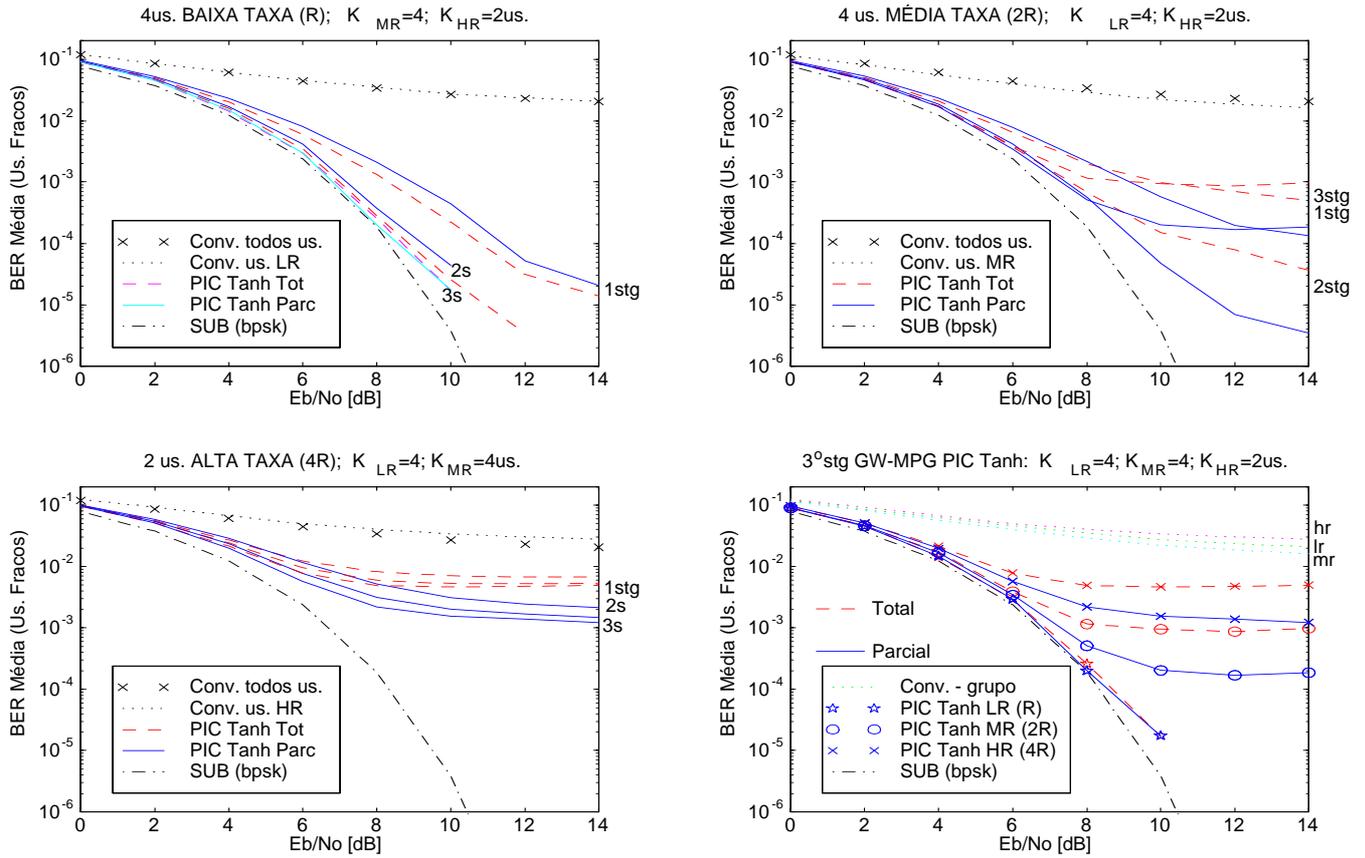


Figura 5.13. MPG–PICw Tanh síncrono na ausência de estimativas soft de bits LR e MR. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e $K_{E_{fet}} = 20us$. ξ distintos por grupo.

5.3.1 MPG–PICw Tanh com usuários de taxa R, 2R e 4R em canal AWGN Assíncrono

Considerando canal AWGN assíncrono e seqüências de espalhamento Gold31 estendida com último chip igual a (-1) , desempenhos médios para o detector **MPG–PICw Tanh** de até quatro estágios foram obtidos a partir de simulações Monte Carlo.

As figuras 5.14 e 5.15 mostram os desempenhos médios do primeiro, terceiro e quarto estágios em função de $\frac{E_b}{N_0}$ para os três grupos de usuários multitaxa com populações de usuários fixas, resultado respectivamente em carregamentos efetivos de sistema $L \approx 65\%$ e $L = 100\%$. Note-se que para ambos os carregamentos, com os valores de ξ adotados por grupo e estágio o desempenho com cancelamento Tanh Parcial superou o Total de forma diferenciada: para o grupo LR esta superação ocorreu no 4º estágio; no grupo MR , ocorreu no 3º estágio e para o grupo HR no 2º estágio (não mostrado). Para os usuários HR não se mostrou o desempenho médio obtido com o quarto estágio, pois o ganho atingido com este estágio cancelador foi imperceptível em relação ao terceiro

estágio, como pode ser comprovado através do desempenho robustez *near-far*, figuras 5.17 e 5.18, no ponto $E_{Interf}/E_{Demais} = 0$ dB do gráfico referente aos usuários *HR*. Em MPG isto se justifica em conformidade com a redução da imunidade à interferência causada pela correspondente redução no ganho de processamento, ou seja quanto menor o N , menor a imunidade à interferência de fundo e para a MAI, menores N implicam em correlações cruzadas médias mais elevadas e portanto também menores imunidades à interferência de múltiplo acesso. Assim, em um esquema multitaxa MPG devido à progressiva redução no ganho de processamento dos usuários dos grupos de taxas crescentes, ter-se-ão reduções correspondentes no desempenho destes grupos, havendo um limite para a capacidade de separação dos sinais dos usuários em um detector IC. O quarto gráfico (direita inferior) das figuras 5.14, 5.15 e 5.16 comprovam a redução progressiva de desempenho para usuários *MR* e *HR* em sistemas mediana e altamente carregados.

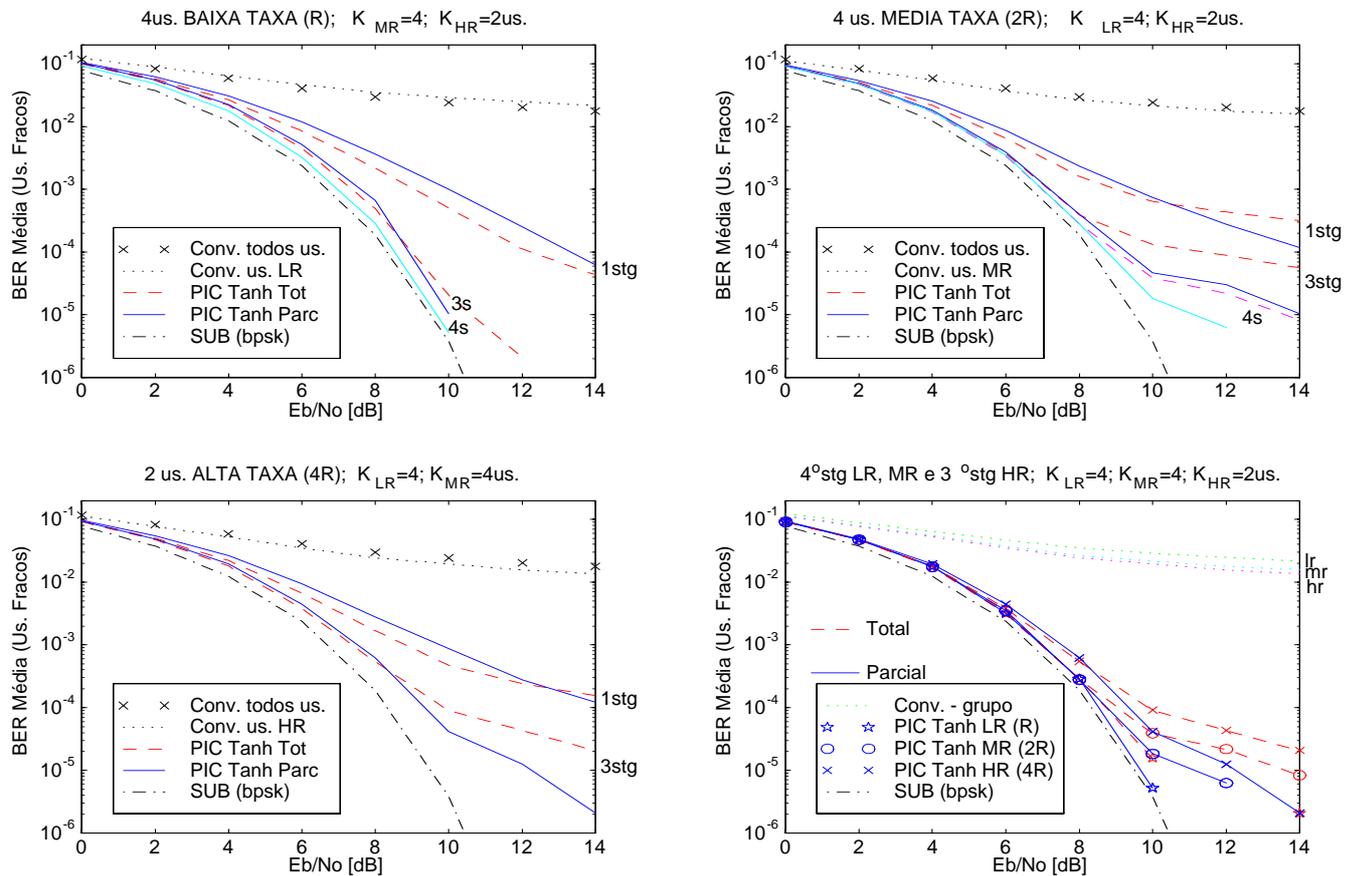


Figura 5.14. $K_{E_{fet}} = 20$ us em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com *estimativas soft* de bits *LR* e *MR*. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo.

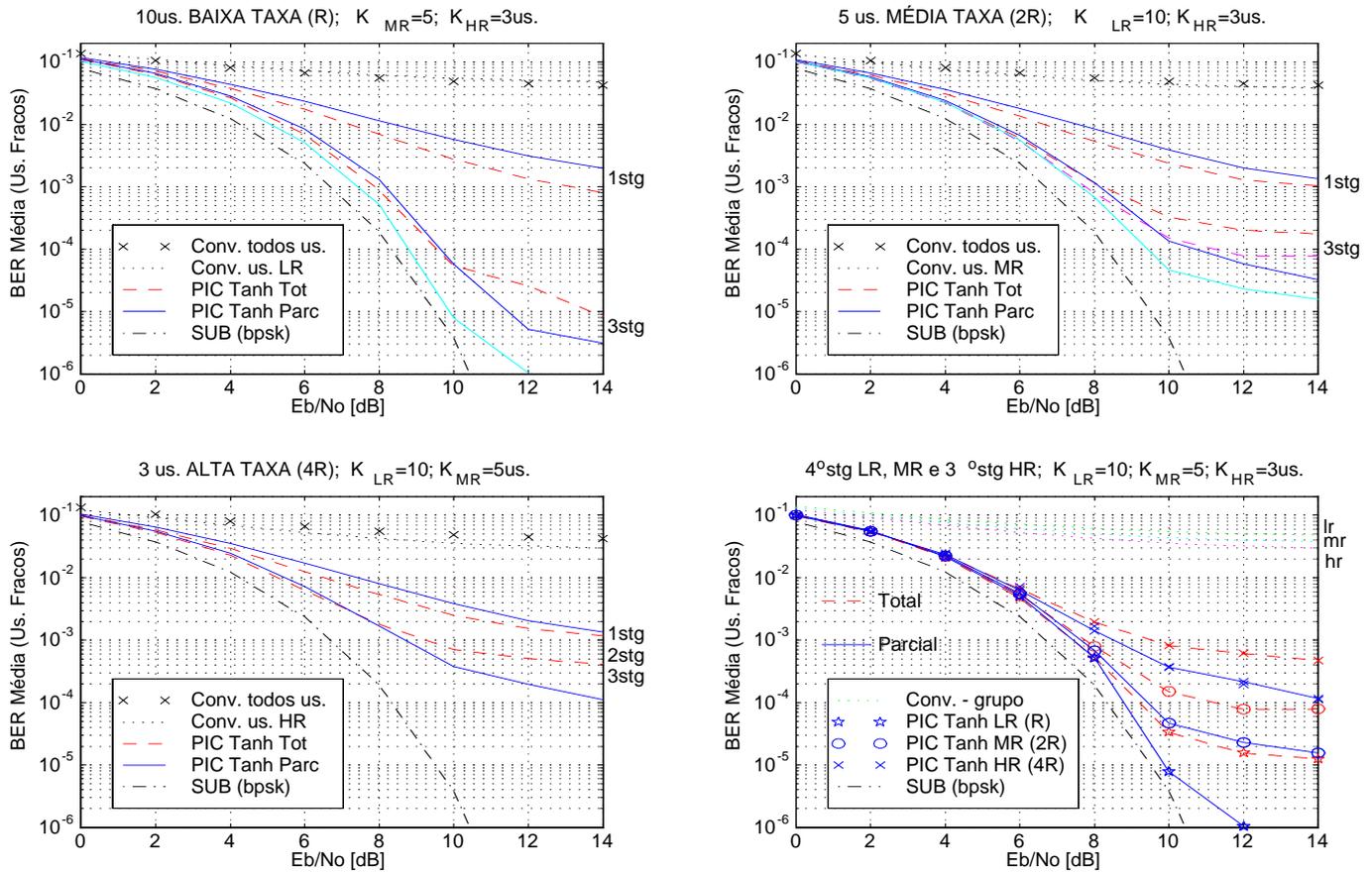


Figura 5.15. $K_{E_{fet}} = 32us$ em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com *estimativas soft* de bits LR e MR . Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo.

Já a figura 5.16 apresenta a degradação do desempenho médio para os três grupos de usuários multitaxa do detector MPG–PICw Tanh assíncrono, com $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB, quando a população de usuários de cada taxa é crescente, mantidas as outras duas populações fixas, resultando em carregamentos efetivos variáveis na faixa de $L_{LR} \approx 72\%$ a 147% (23 a 47 us. virtuais); $L_{MR} \approx 75\%$ a 194% (24 a 62 us. virtuais); $L_{HR} \approx 75\%$ a 287% (24 a 92 us. virtuais). Note-se que a figura mostra as regiões de carregamento e número do estágio onde o desempenho do MPG–PICw Tanh assíncrono com cancelamento *Parcial* supera o *Total*. Assim, para os valores de ξ_v por grupo e estágio adotados, atinge-se clara vantagem de desempenho com o cancelamento *Parcial* em uma ampla faixa de carregamento para os grupos MR e HR , sendo que para os usuários de baixa taxa esta vantagem é atingida apenas no 4º estágio e se restringe às regiões média e alta, não sendo expressiva. Comparando-se a evolução do desempenho em função do número de estágios canceladores, a vantagem de desempenho do cancelamento *Parcial* sobre o *Total* para o grupo LR ocorre no 4º estágio e apenas para carregamentos altos, não sendo muito significativa; para o grupo MR , ocorre no 3º estágio e para o grupo HR no 2º estágio (não mostrado) para uma ampla faixa de carregamentos.

Note-se que procedimento de cancelamento parcial para o decisor Tanh em um esquema multitaxa MPG–PICw Tanh assíncrono continua válido podendo produzir, sob certas condições, melhoria de desempenho em relação ao cancelamento total. Mesmo não se estabelecendo formalmente aqui um procedimento de otimização para os coeficientes, desempenhos melhorados para o cancelamento parcial foram atingidos em uma faixa considerável de carregamentos nos três grupos de usuários multitaxa. Para que isto ocorresse com o grupo *LR* foram necessários quatro estágios de cancelamento, resultando em uma complexidade de implementação adicional.

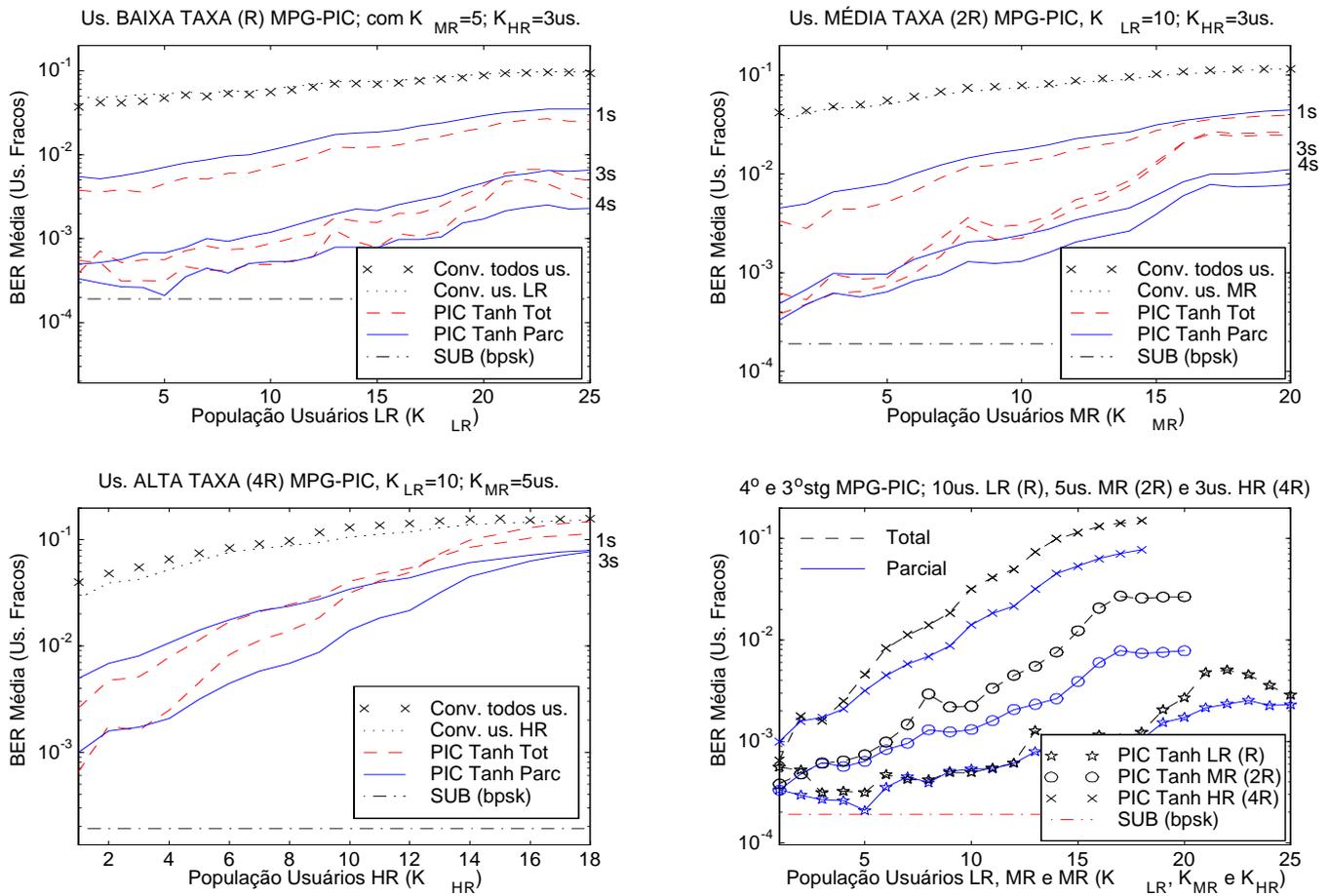


Figura 5.16. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com *estimativas soft* de bits *LR* e *MR*. Três grupos de usuários MPG com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v distintos por grupo. $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$.

Apesar do melhor desempenho obtido em cada um dos três estágios no esquema MC–PIC Tanh da seção 5.7, face ao MPG–PICw Tanh de 4 estágios da figura 5.16, saliente-se a maior limitação para o *número máximo de usuários físicos multitaxa* imposta no esquema MC devido a adoção de conjuntos de seqüências de espalhamento determinísticas. Com o esquema MPG, é possível obter carregamentos efetivos da ordem de 2 a 6 vezes o carregamento máximo atingido com um esquema MC de tripla taxa de razão de taxa *R*, *2R* e *4R*. O preço pago por esta maior flexibilidade de

carregamento no esquema multitaxa MPG é o pior desempenho médio, em relação ao MC, devido às distintas imunidades às interferências de múltiplo acesso e às diferentes amplitudes transmitidas por grupo multitaxa.

Finalmente, as figuras 5.17 e 5.18 apresentam o comportamento em ambiente *near-far* para o MPG–PICw Tanh Parcial e Total assíncrono considerando um usuário interferente com $NFR = [-15; +25]$ dB. Novamente, são apresentados resultados de desempenho para o 1º, 3º e 4º estágios canceladores para um sistema operando em $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e carregamentos fixados em $L = 62,5\%$ e $L = 100\%$.

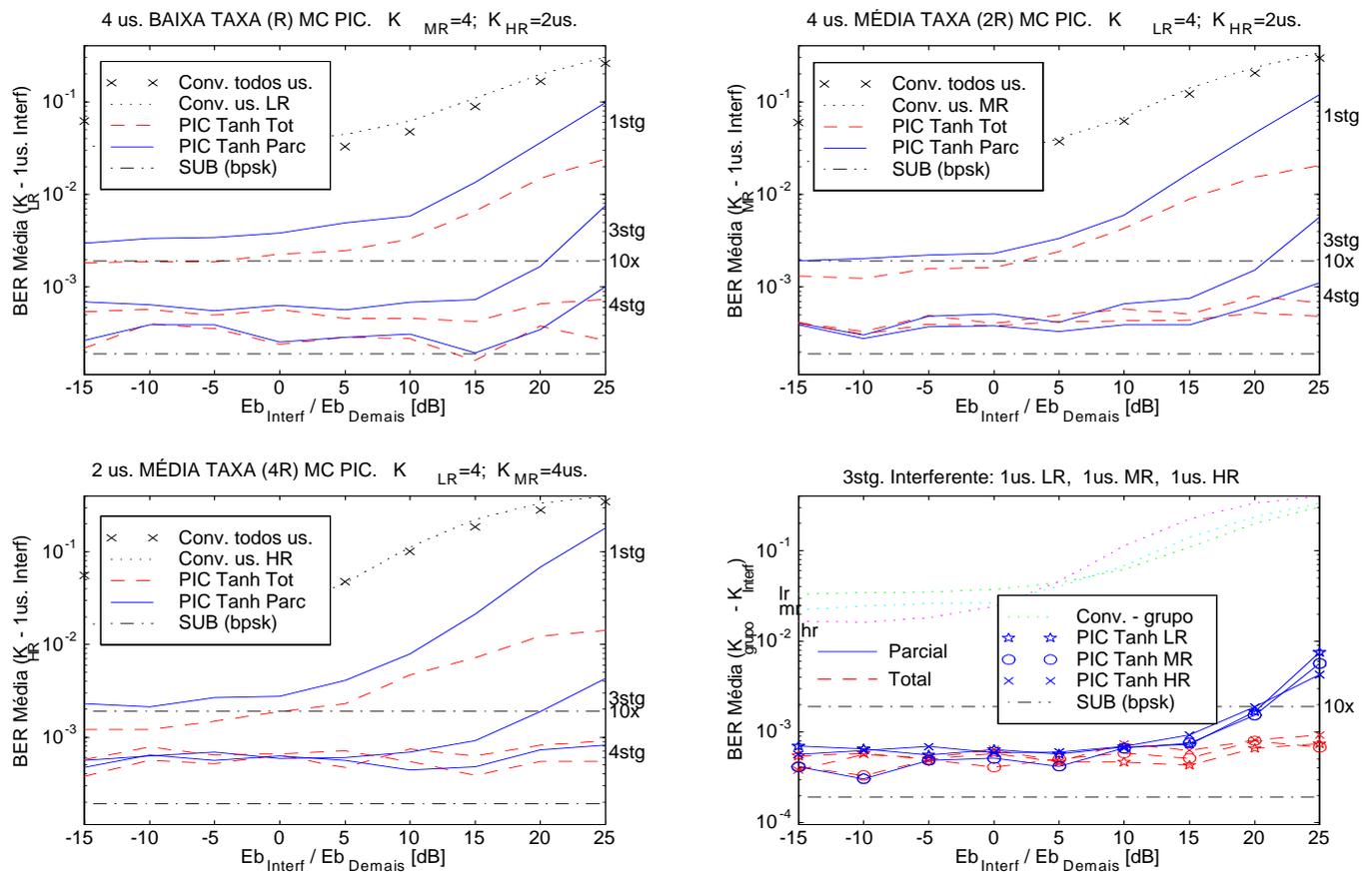


Figura 5.17. Robustez *near-far* para MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios operando em $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e carregamento $L = 62,5\%$. ξ_v distintos por grupo.

Para os parâmetros de sistema acima, a robustez *near-far* do MPG–PICw Tanh Total *superou* o Parcial para todos os estágios e ambos os carregamentos considerados. Isto pode ser justificado, novamente, pela não otimização dos coeficientes (função de E_b/N_0 e carregamento). Analogamente ao esquema MC–PIC Tanh, pode-se esperar uma inversão de desempenho fazendo-se o sistema operar em $\frac{E_b}{N_0} = 9$ ou 10 dB; ou ainda tentar otimizar os valores de $\xi_{v,g}$ em $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB. Nas condições apresentadas, obteve-se uma robustez *near-far* no 4º estágio, tanto para cancelamento *Total* quanto para *Parcial*, maior que 25 dB para carregamento $L = 62,5\%$ e aproximadamente igual a 25 dB

para $L = 100\%$. A conclusão geral é que mesmo para sistemas altamente carregados a estrutura MPG–PICw Tanh assíncrono com três ou quatro estágios é capaz de operar satisfatoriamente sob forte efeito *near-far* de um ou dois usuários em canal AWGN.

Uma comparação entre a robustez *near-far* obtida no terceiro estágio do MPG–PICw Tanh com MC–PIC Tanh anterior revela um melhor desempenho para a segunda estrutura, considerando os três grupos de usuários multitaxa e ambos os carregamentos; isto se justifica mais uma vez pela maior interferência gerada pelos usuários de taxas mais elevadas sobre os demais grupos associada à menor imunidade de rejeição de interferência MAI destes usuários devido ao menor ganho de processamento.

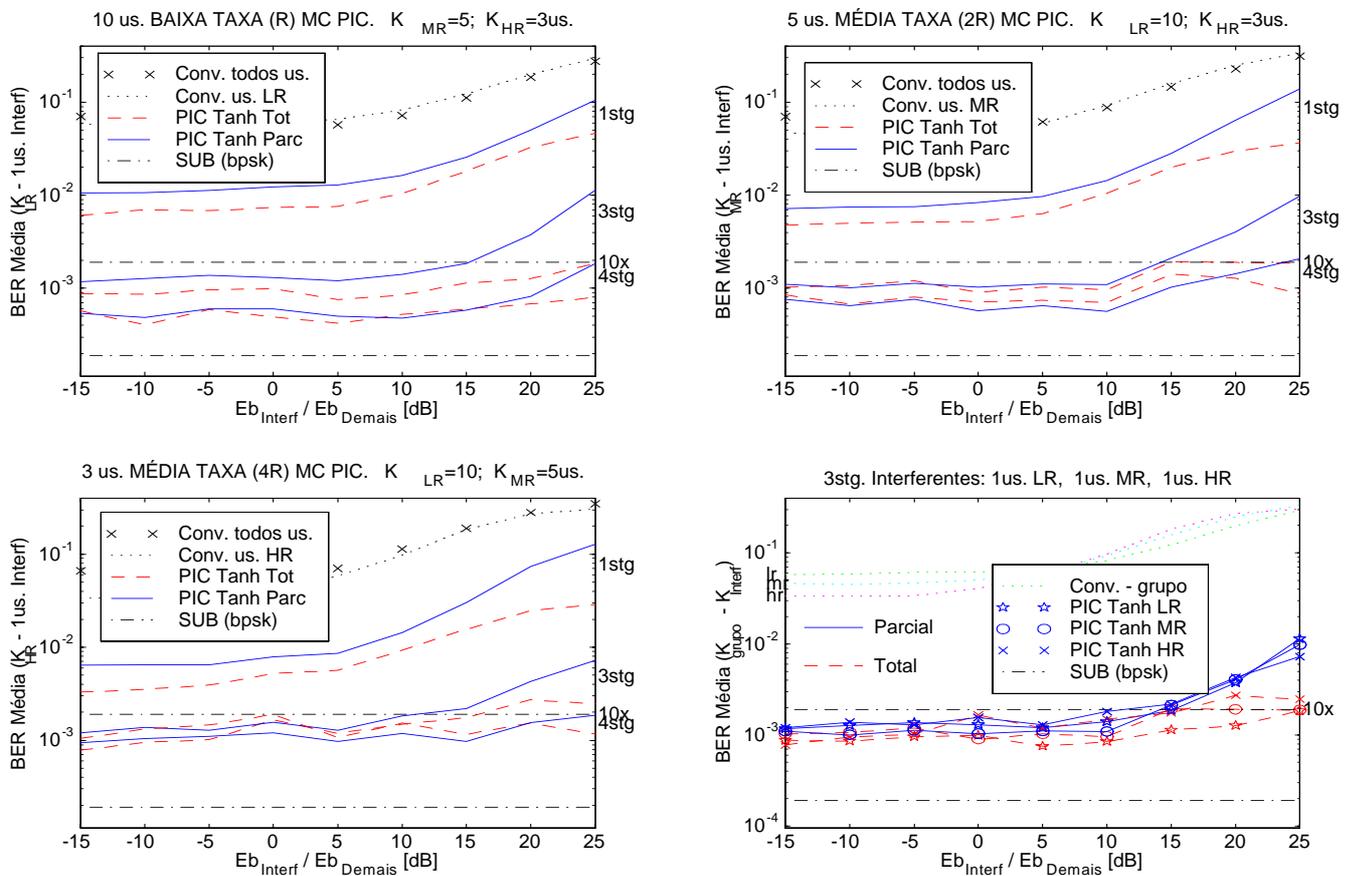


Figura 5.18. Robustez *near-far* para MPG–PICw Tanh assíncrono de 4 estágios com $L = 100\%$. $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.

5.4 Multitaxa MPG associado ao Cancelamento de Interferência Híbrido

O esquema de acesso de múltipla taxa MPG pode ser combinado ao cancelamento de interferência híbrido série-paralelo na tentativa de aproveitar o inevitável desbalanceamento das amplitudes transmitidas entre usuários de taxas distintas. A idéia básica consiste então em fazer sucessivas detecções, reconstruções e cancelamentos de sinais de um mesmo grupo, em quantidade igual ao número de grupos de usuários multitaxa existentes, iniciando-se pelo grupo de maior taxa, HR , gerador de maior interferência no sistema. Em cada grupo de sinais multitaxa é feito o cancelamento paralelo multiestágio, uma vez que as potências recebidas dos usuários de um mesmo grupo, em ambiente com relativo controle de potência serão aproximadamente iguais. Portanto a estrutura detecedora resultante tenta aproveitar as boas características do cancelador SIC e PIC.

A figura 5.19 mostra dois esquema genéricos MPG de tripla taxa (baixa, LR , média, MR e alta, HR) e detecção híbrida do tipo GSIC com detector Convencional na detecção de grupo [Wijting 99], [Juntti 99b]. Esquematiza-se na figura 5.19.a o *modo básico* da estrutura, onde a interferência gerada pelos usuários multitaxa MPG são canceladas sucessivamente, da maior para a menor⁷²; enquanto que na figura 5.19.b um esquema com cancelamento no *modo estendido* é obtido a partir do esquema básico acrescentando-se os cancelamentos de interferência "cruzados" dos usuários de taxa média e alta.

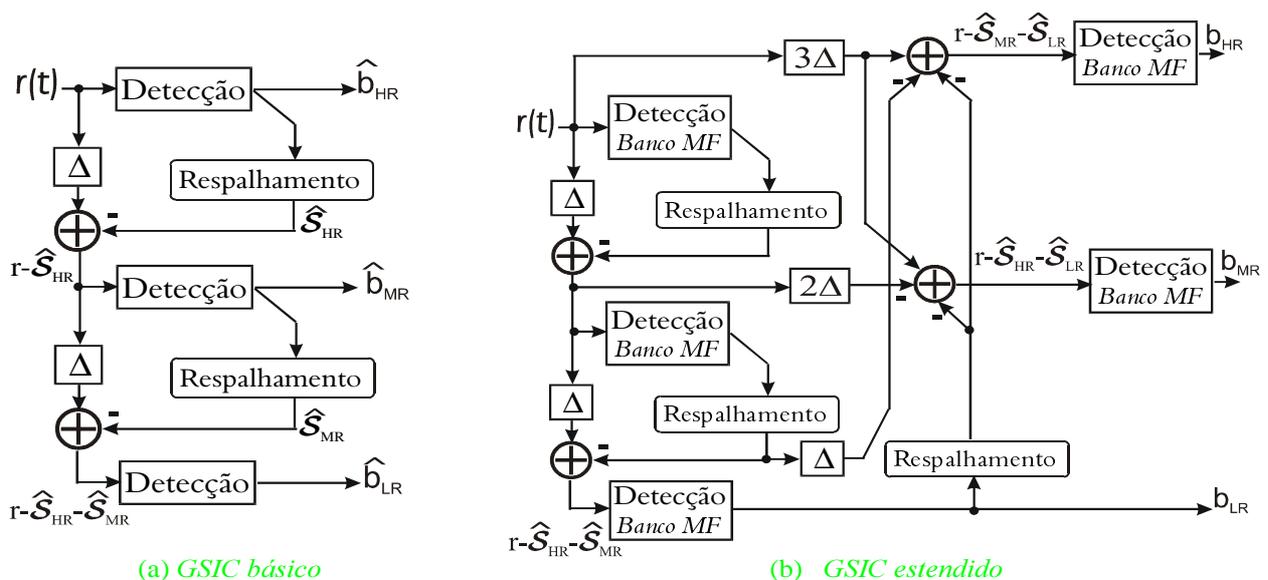


Figura 5.19. Esquema genérico para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas associando-se MPG à detecção híbrida GSIC com detector Convencional na detecção de grupo de mesma taxa.

⁷² Usuários HR são transmitidos com maior amplitudes afim de manter a energia de bit constante para todos os usuários multitaxa

5.4.1 MPG–GSIC com detector PIC na detecção de Grupo

São propostas nas figuras 5.20, 5.22 e 5.23 três novas versões genéricas para a detecção multitaxa MPG associada ao cancelamento paralelo com decisor *soft* do tipo tanh, denominado aqui **MPG–GSIC Tanh**. O PIC Tanh Parcial ou Total multiestágio é empregado na detecção simultânea de cada grupo de usuários multitaxa, enquanto que o cancelamento sucessivo do tipo pré-deteção elimina sucessivamente do sinal total recebido em banda base o conjunto de sinais pertencentes ao grupo multitaxa MPG específico (taxa alta, *HR*, média, *MR* e finalmente baixa, *LR*) anteriormente detectado e reconstruído. Desta forma, caso seja possível obter boas estimativas para os bits dos usuários de alta taxa, o sinal resultante à entrada do PIC multiestágio para a detecção do grupo de média taxa não terá os sinais interferentes dos usuários de alta taxa. Finalmente, após o segundo cancelamento sucessivo de grupo, ocorrerá a detecção do grupo de sinais dos usuários de baixa taxa.

Pode-se ainda melhorar o desempenho dos sinais dos grupos de alta (ou média) taxa previamente detectados a partir da reconstrução e cancelamento dos sinais dos usuários *MR* e *HR* (ou *HR* e *LR*) seguido de nova detecção paralela multiestágio para os sinais resultantes. As três versões propostas aqui utilizam este modo estendido na obtenção de desempenhos melhorados para usuários dos grupos *HR* e *MR*. Ainda, são empregados esquemas para cancelamento de interferência do tipo pré-deteção, cujo cancelamento dos sinais interferentes é realizado utilizando sinais reconstruídos e espalhados pelos respectivos códigos, como analisado na seção 2.4.4.6, figura 2.43.

As três versões propostas trazem as seguintes inovações em relação a [Wijting 99] e [Juntti 99b]: o uso do decisor tanh na etapa do cancelamento paralelo multiestágio por grupo, a estrutura dos sinais do algoritmo de reconstrução e cancelamento da MAI para três versões distintas e uma caracterização mais ampla para os desempenhos em canal AWGN assíncrono.

Extensas simulações MCS foram realizadas tanto para canais síncronos quanto para assíncronos; no entanto, será analisado aqui apenas o comportamento da estrutura MPG–GSIC Tanh em canal AWGN assíncrono. *Estimativas soft* para a reconstrução e cancelamento dos sinais dos usuários *MR* e *LR* foram empregadas nas três versões do MPG–GSIC Tanh, reduzindo sensivelmente a taxa de erro de bit dos usuários de taxas média e alta. Os resultados analisados nesta seção foram obtidos adotando-se os seguintes fatores de cancelamento não otimizados para o MPG–GSIC Tanh Parcial de três (versão B) ou quatro estágios (versão A ou C):

$$\begin{aligned}\xi_1 &= [0, 67; 0, 77; 0, 87]; & \xi_2 &= [0, 77; 0, 87; 0, 92]; \\ \xi_3 &= [0, 89; 0, 94; 0, 97]; & \xi_4 &= [1; 1; 1]\end{aligned}$$

Adicionalmente, para a versão B, figura 5.22 foi utilizado detecção PIC parcial de 2 estágios no modo básico com os seguintes coeficientes por grupo multitaxa:

$$\xi_{pre1} = [0, 65; 0, 70; 0, 80]; \quad \xi_{pre2} = [0, 85; 0, 95; 1, 00];$$

As seqüências de espalhamento para os usuários dos grupos MR e HR foram obtidas tomando-se os primeiros 16 e 8 chips de seqüências do conjunto de Gold31 estendida, descartando-se os demais chips, como descrito na seção 4.3.

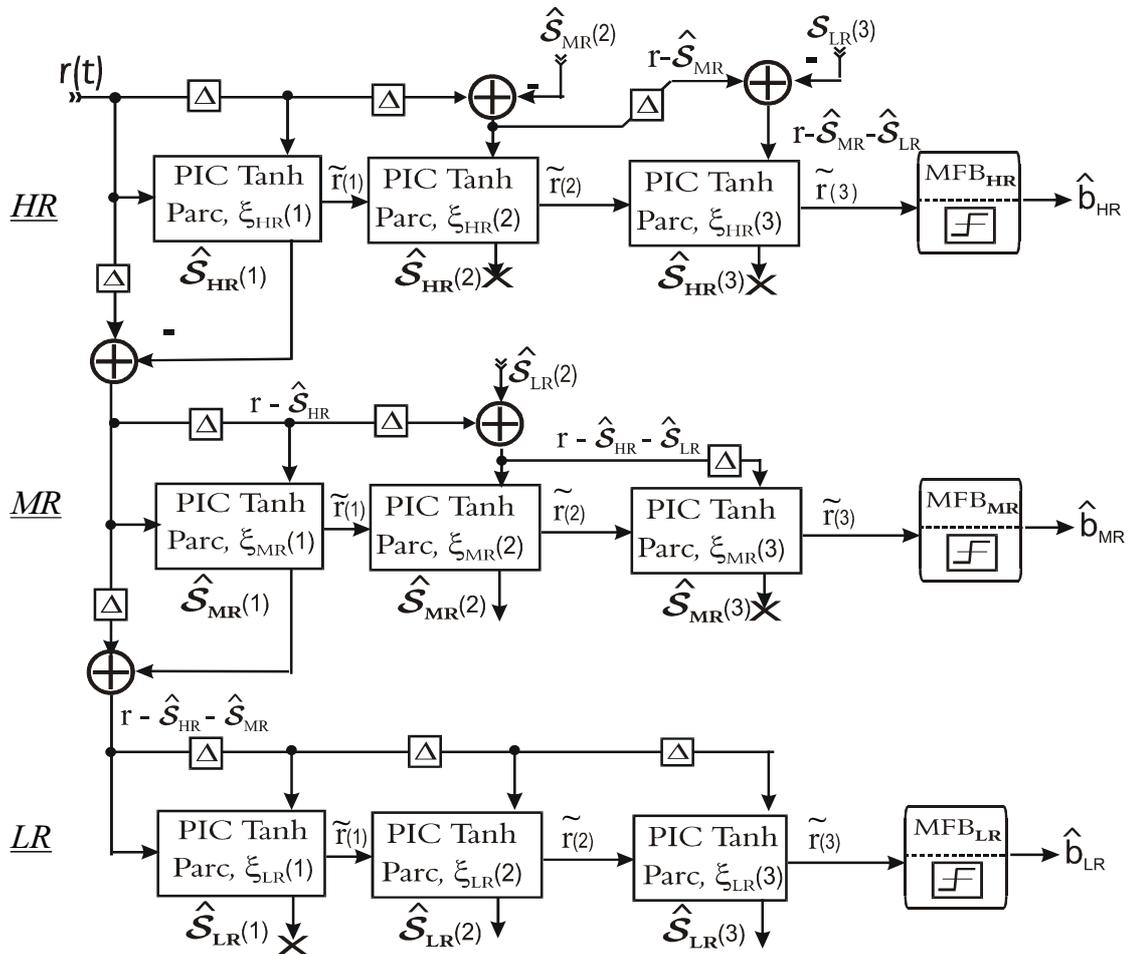


Figura 5.20. Versão A do MPG-GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.

A partir dos parâmetros acima, extensos resultados de simulação, tanto para canais AWGN síncronos quanto assíncronos, mostraram que todas as três versões resultaram em desempenhos relativamente próximos; no entanto, a versão B oferece um pequeno diferencial favorável no desempenho; já a versão A resultou no pior desempenho. Este favoritismo é ilustrado através dos resultados de robustez *near-far* para as três versões, figuras 5.21, 5.24 e 5.28. Note-se uma pequena vantagem da versão B sobre a A e C, considerando o desempenho atingido com o terceiro estágio.

No entanto, vale observar que a utilização do PIC com decisor Tanh em qualquer uma das versões A, B ou C resultará em desempenho superior ao obtido em [Juntti 99b], o qual utiliza também GSIC estendido associado ao PIC com decisor HD de dois estágios na detecção de grupo, sendo os resultados obtidos para o mesmo ganho de processamento, carregamento e conjunto de seqüências.

Entre as três versões apresentadas, a versão C da figura 5.23 é a que apresenta uma estrutura de cancelamento mais simétrica para os três grupos de usuários multitaxas; justamente devido a esta simetria na construção nota-se uma maior separação nas curvas de desempenho a cada estágio PIC, sendo ainda considerável o aumento de desempenho atingido com o 4º estágio cancelador em relação ao 3º estágio, observável para os três grupos de usuários multitaxa, figura 5.24, embora esta estrutura resulte em desempenho levemente inferior ao da versão B. Já para a versão A, não há ganho significativo de desempenho com o quarto estágio, figura 5.21.

A seguir serão analisados em detalhes os resultados de simulação para a versão B considerando canal AWGN assíncrono e seqüências de Gold31 estendidas.

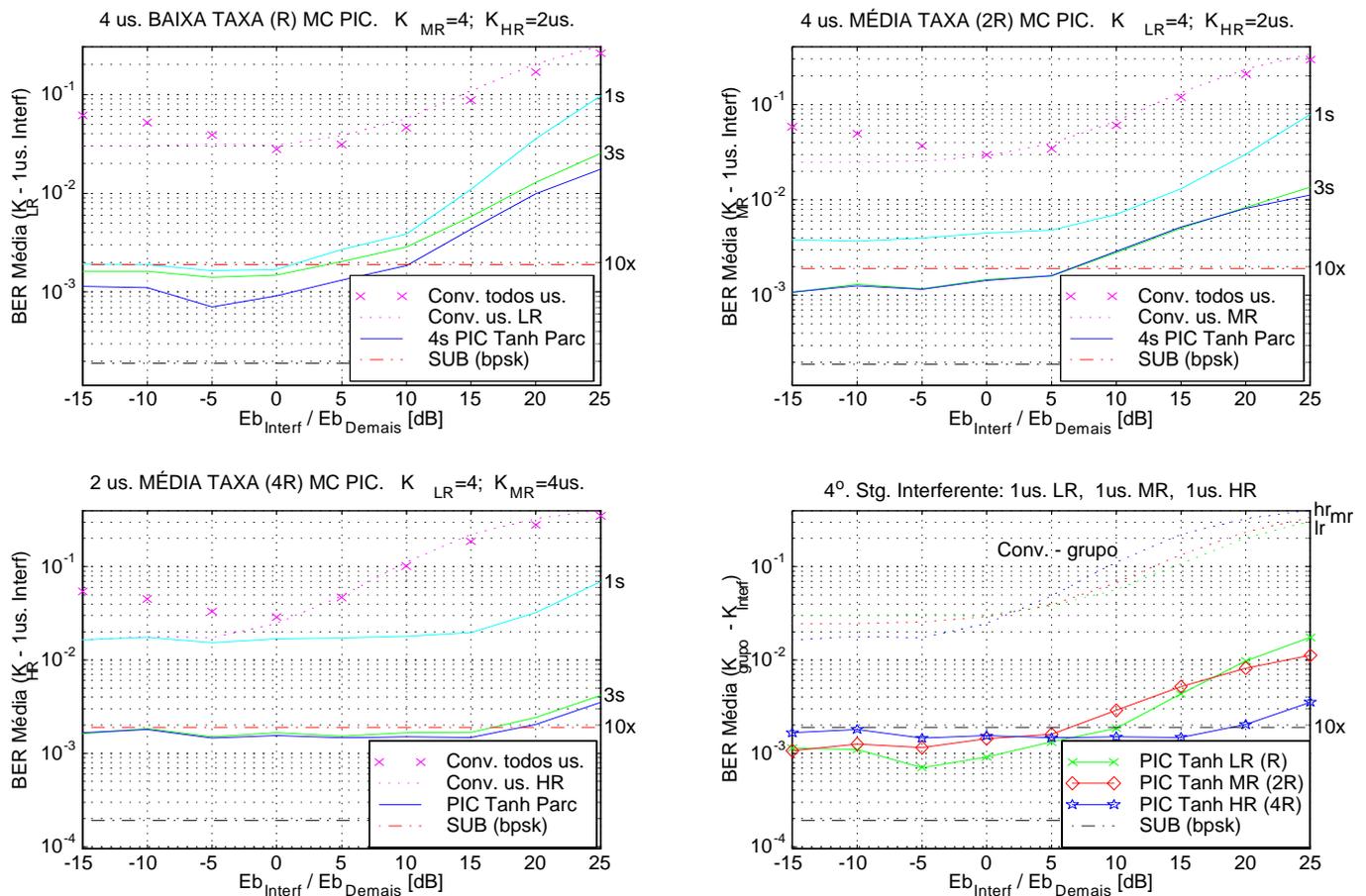


Figura 5.21. Robustez *near-far* para a versão A do MPG-GSIC Tanh Parcial assíncrono de 4 estágios; carregamento $L = 62, 5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.

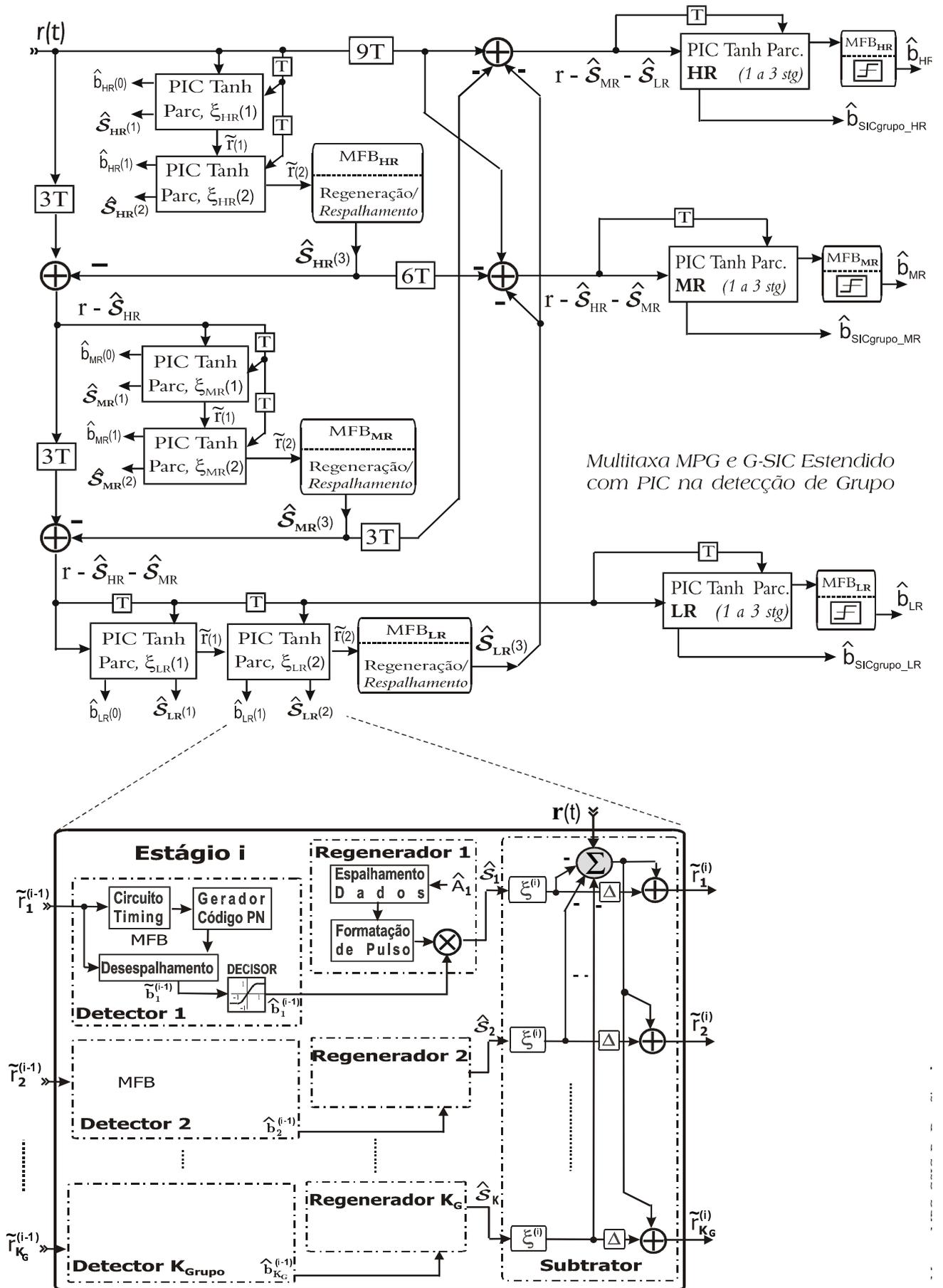


Figura 5.22. Versão B do MPG-GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.

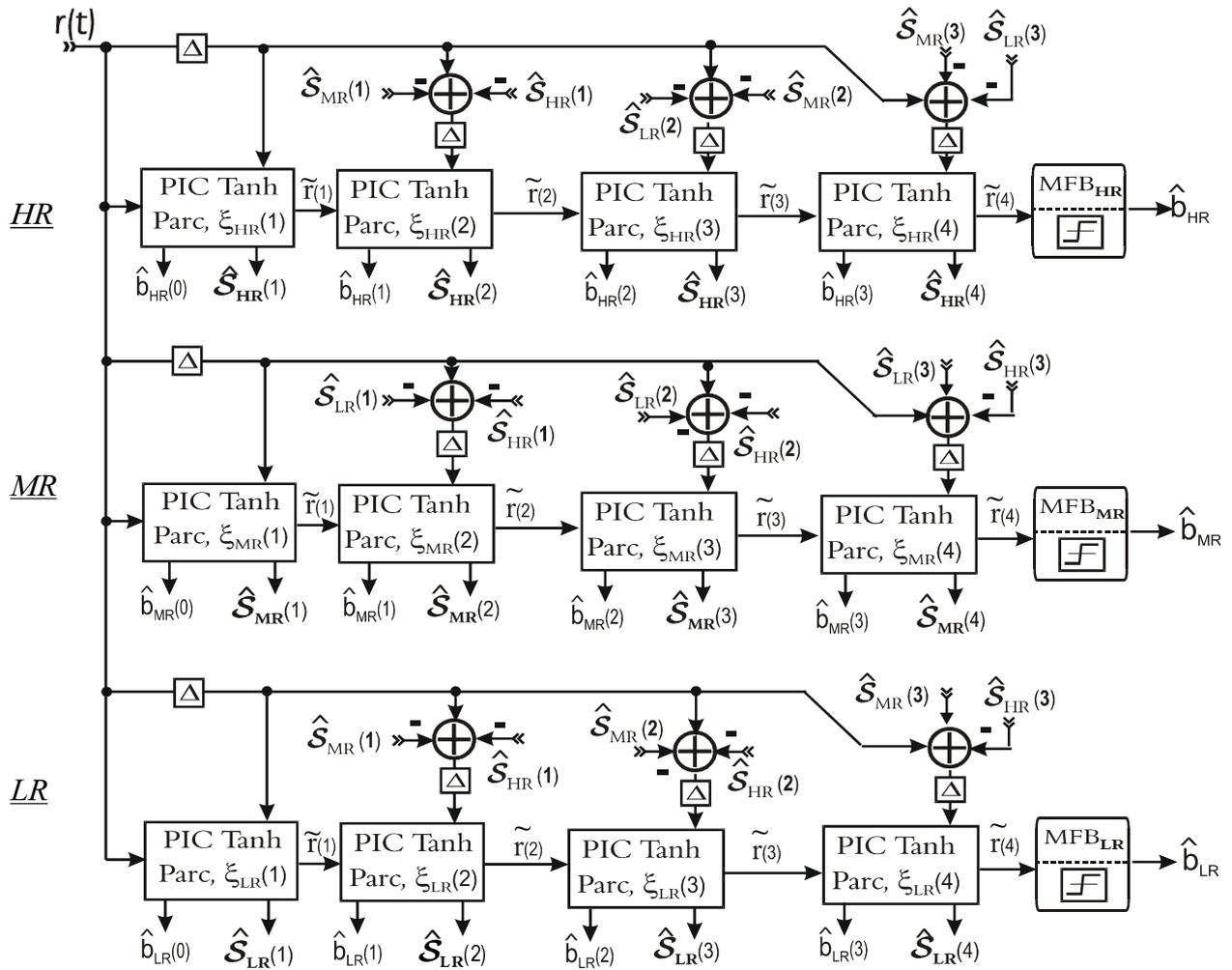


Figura 5.23. Versão C do MPG–GSIC Tanh para detecção de grupo de usuários com 3 taxas distintas.

5.4.1.1 MPG–GSIC Tanh, versão B - Resultados de Simulação para Canal Assíncrono AWGN

Resultados de simulação MCS para a versão B do detector MPG–GSIC Tanh, figura 5.22, em canal AWGN assíncrono com $\frac{E_b}{N_0}$ variável e população de usuários fixa foram sintetizados nas figuras 5.25 e 5.26, para o esquema de cancelamento Parcial e um número de usuários físicos de tripla taxa igual a $K_{Fis} = 10$ e 18 e controle perfeito de potência. Observa-se que não há melhoria de desempenho médio com o segundo e o terceiro estágios para os usuários de taxa média e alta.

Desempenhos médios em função da população de usuários efetiva foram obtidos para cada grupo de usuários multitaxa considerando agora cancelamento Total e Parcial, com $NFR = 0dB$ e sistema operando no ponto de $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB. A figura 5.27 mostra o desempenho alcançado em cada um dos estágios canceladores para uma população de grupo crescente, mantidas as outras duas fixas; adotou-se uma população inicial por grupo, $K_{Fis} = [10; 5; 3]$ usuários. Uma vez que o desempenho por grupo

de usuários obtido com o cancelamento total e parcial resultou muito similar, tornou-se impossível distinguí-los na figuras 5.27, 5.28 e 5.29.

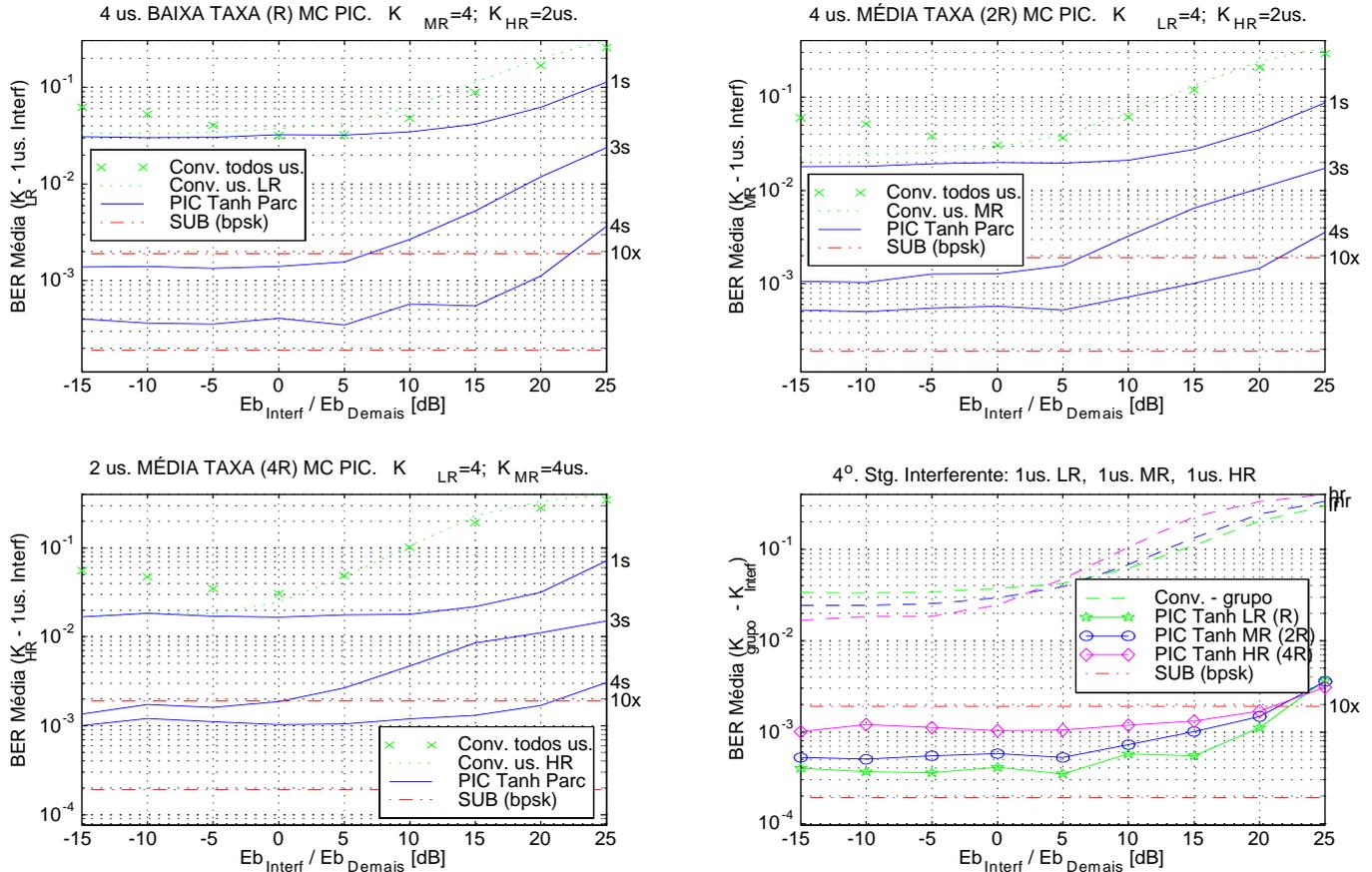


Figura 5.24. Robustez *near-far* para a versão C do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 4 estágios; carregamento $L = 62, 5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.

Note-se que para carregamentos efetivos crescentes de usuários do grupo HR na figura 5.27 há apenas um pequeno ganho de desempenho com o segundo e terceiro estágios, havendo a inversão de desempenho na região de elevado carregamento efetivo ($\approx 263\%$). Observe-se ainda que não há ganho de desempenho com o cancelamento parcial multiestágio para os valores de ξ adotados nos dois estágios canceladores iniciais e também nos três estágios de cancelamento por grupo na etapa estendida.

Finalmente as figuras 5.28 e 5.29 mostram a degradação de desempenho médio sobre $K_g - 1$ usuários de um mesmo grupo multitaxa em um detector MPG–GSIC Tanh quando submetido ao efeito *near-far* de um único interferente do mesmo grupo para uma ampla faixa de valores NFR , mantidos todos os demais usuários com potências recebidas idênticas. Note-se que os desempenhos das versões com PIC Total e Parcial são praticamente idênticos. Há uma progressiva redução na robustez *near-far* para os grupos de taxas mais elevadas, devido à redução na capacidade de rejeição

de interferência, característica dos esquemas MPG. Observe-se ainda que para desajustes de até $NFR \approx 5$ a 10 dB na potência de um interferente não há diferença de desempenho entre o primeiro, segundo e terceiro estágios na detecção dos usuários pertencentes aos grupos HR e MR .

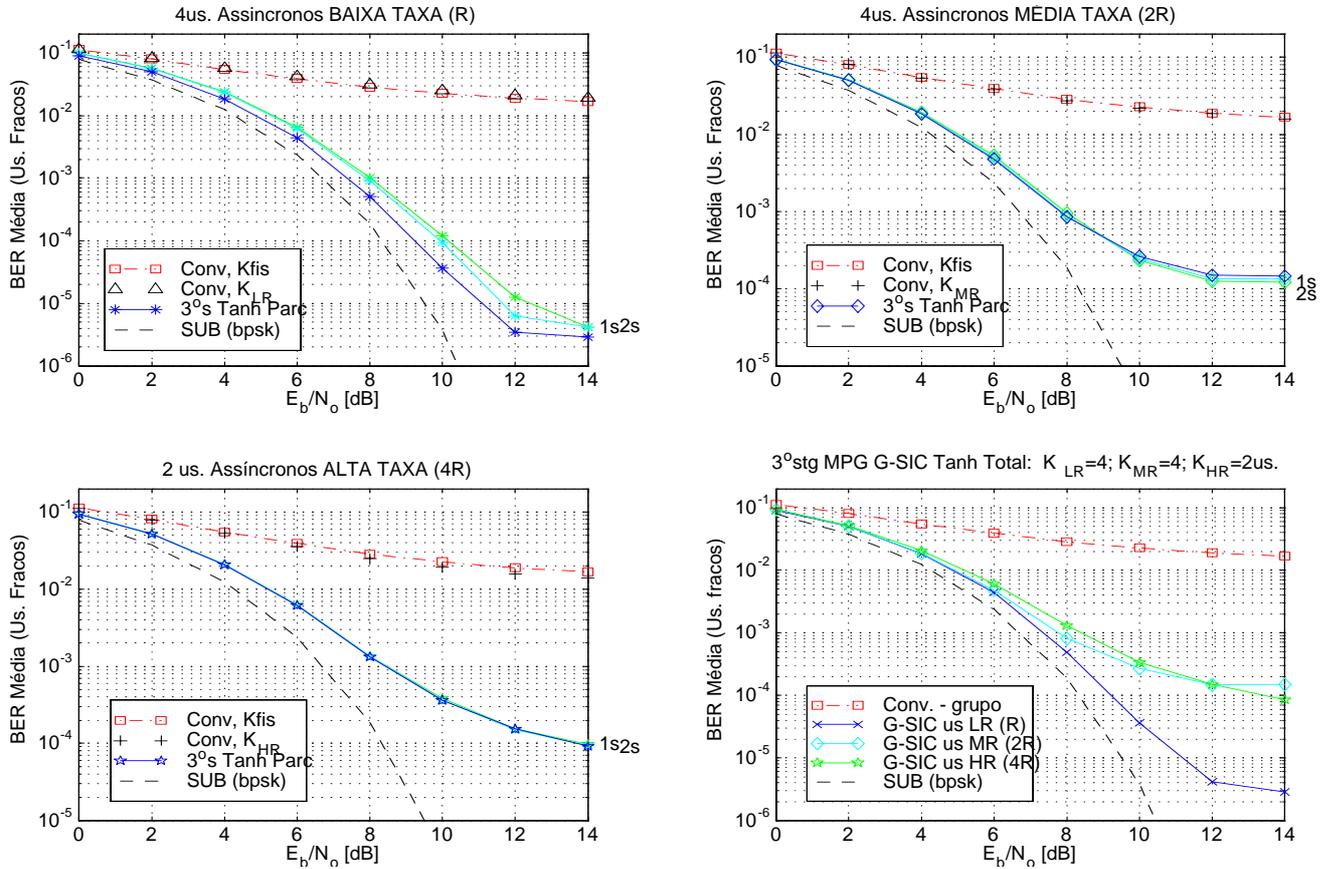


Figura 5.25. $\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{Efet} = 20us$, versão B do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios com *estimativas soft* de bits LR e MR ; três grupos de usuários com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo.

Para a versão B (as-)síncrona do MPG–GSIC Tanh, observa-se:

- os desempenhos obtidos para os três grupos de usuários multitaxa são praticamente idênticos à versão com PIC Total, tanto para controle perfeito de potência quanto sob efeito *near-far*, considerando carregamentos efetivos médio e altos, isto é, $K_{Fis} = 10$ e 18 (equivalente a $K_{Efet} = 20$ e 32, respectivamente) e os coeficientes de cancelamento parcial escolhidos não otimizados;
- Para os carregamentos considerados, $K_{Fis} = 10$ e 18, as diferenças de desempenho entre as estruturas que utilizam 1, 2 e 3 estágios canceladores dos grupos HR e MR são desprezíveis, indicando que *apenas um único estágio cancelador na etapa estendida* pode ser suficiente para estes dois grupos multitaxa, caso o sistema não opere sob forte efeito *near-far*, como indicam as figuras 5.28 e 5.29.

Portanto, a princípio, uma redução de complexidade na versão B da figura 5.22 pode ser obtida, mantido um certo controle de potência, utilizando-se apenas um estágio PIC Total para os grupos HR e MR na etapa estendida de cancelamento paralelo por grupo.

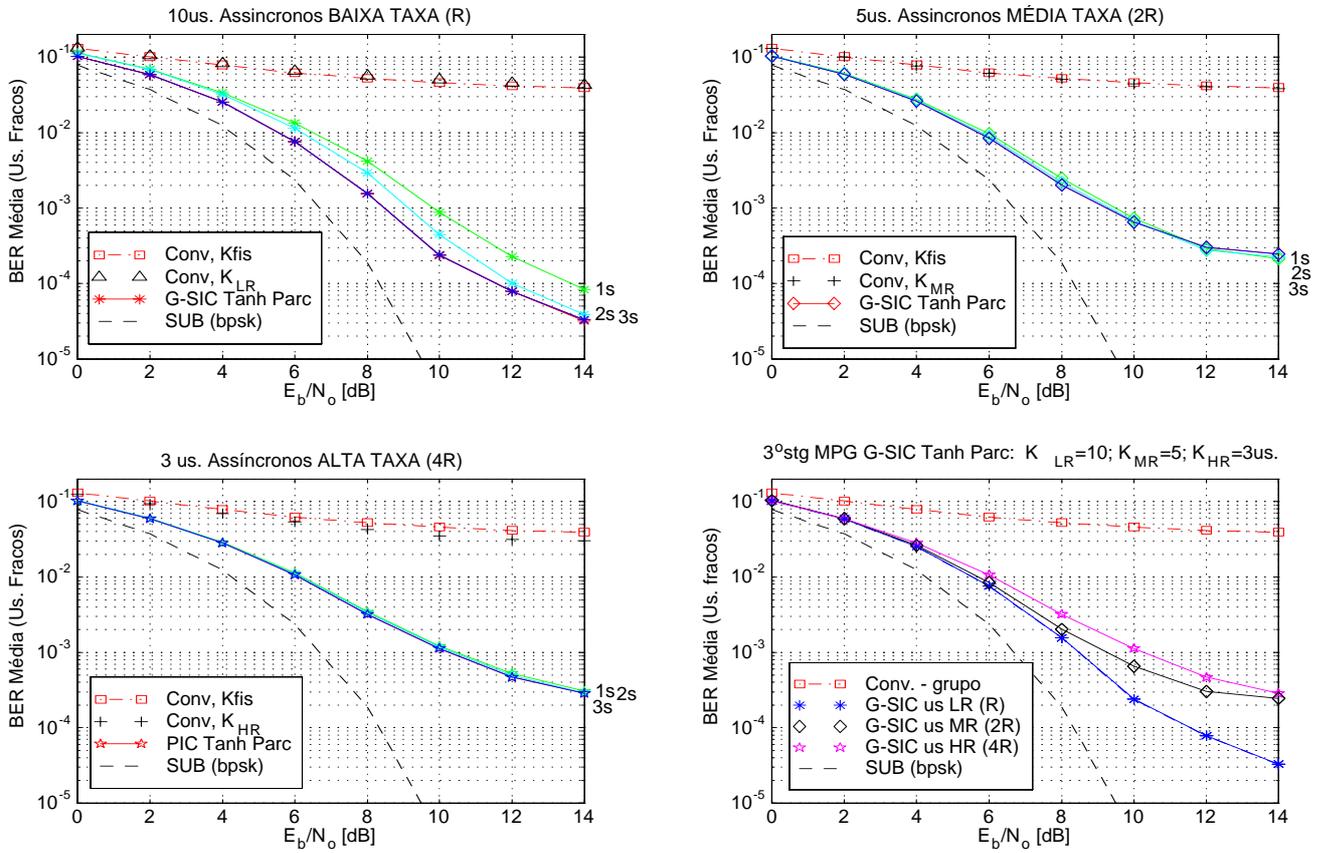


Figura 5.26. $\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{E_{fet}} = 32$ us, versão B do MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios com *estimativas soft* de bits LR e MR . Três grupos de usuários com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; controle perfeito de potência e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo.

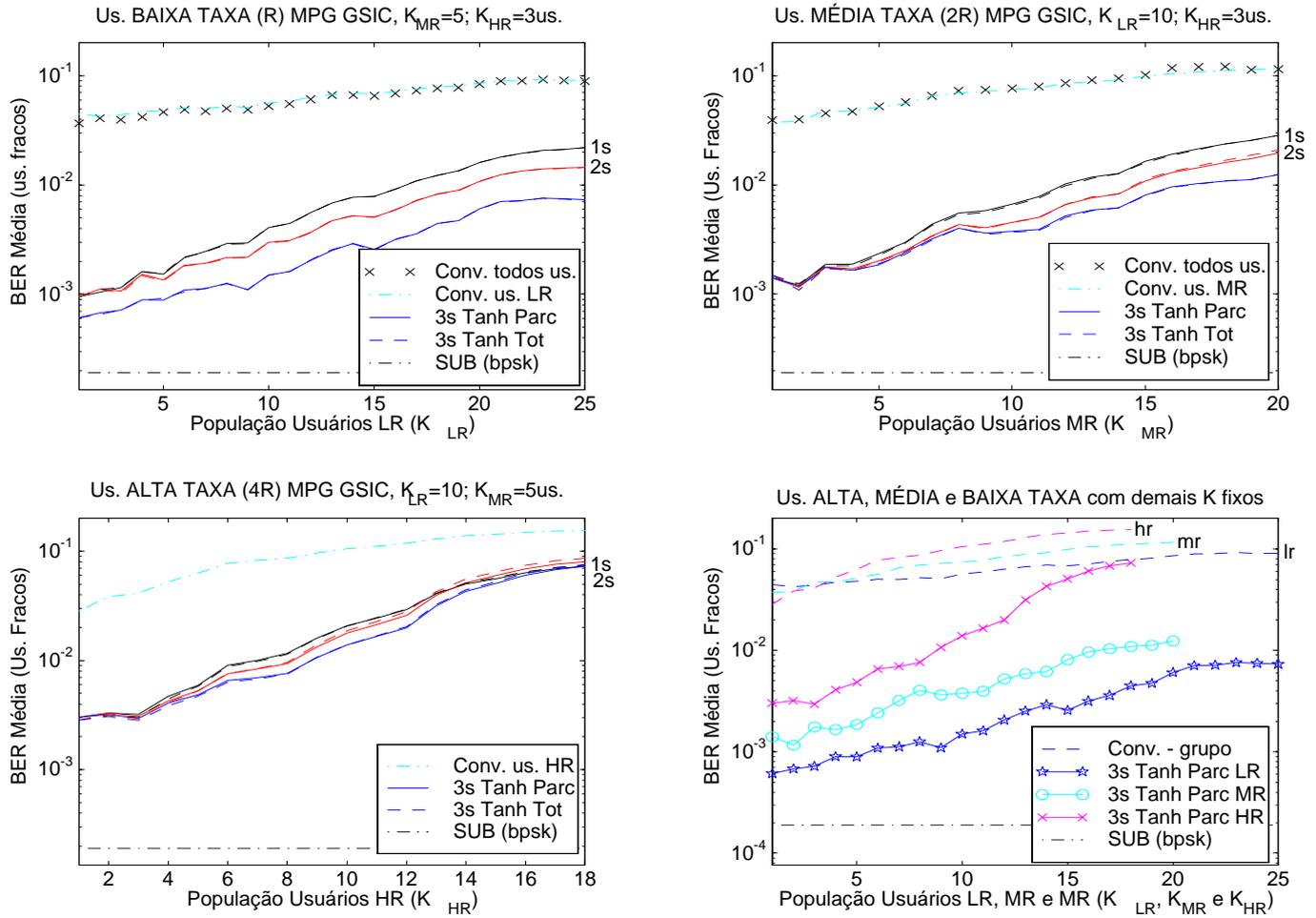


Figura 5.27. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um MPG–GSIC Tanh Parcial e Total assíncrono de 3 estágios com *estimativas soft* de bits LR e MR ; três grupos com $N_{LR} = 32$, $N_{MR} = 16$ e $N_{HR} = 8$; $NFR = 0$ e ξ_v e ξ_{pre} distintos por grupo. $E_b/N_0 = 8\text{dB}$; população física inicial $K_{Fis} = [10; 5; 3]$.

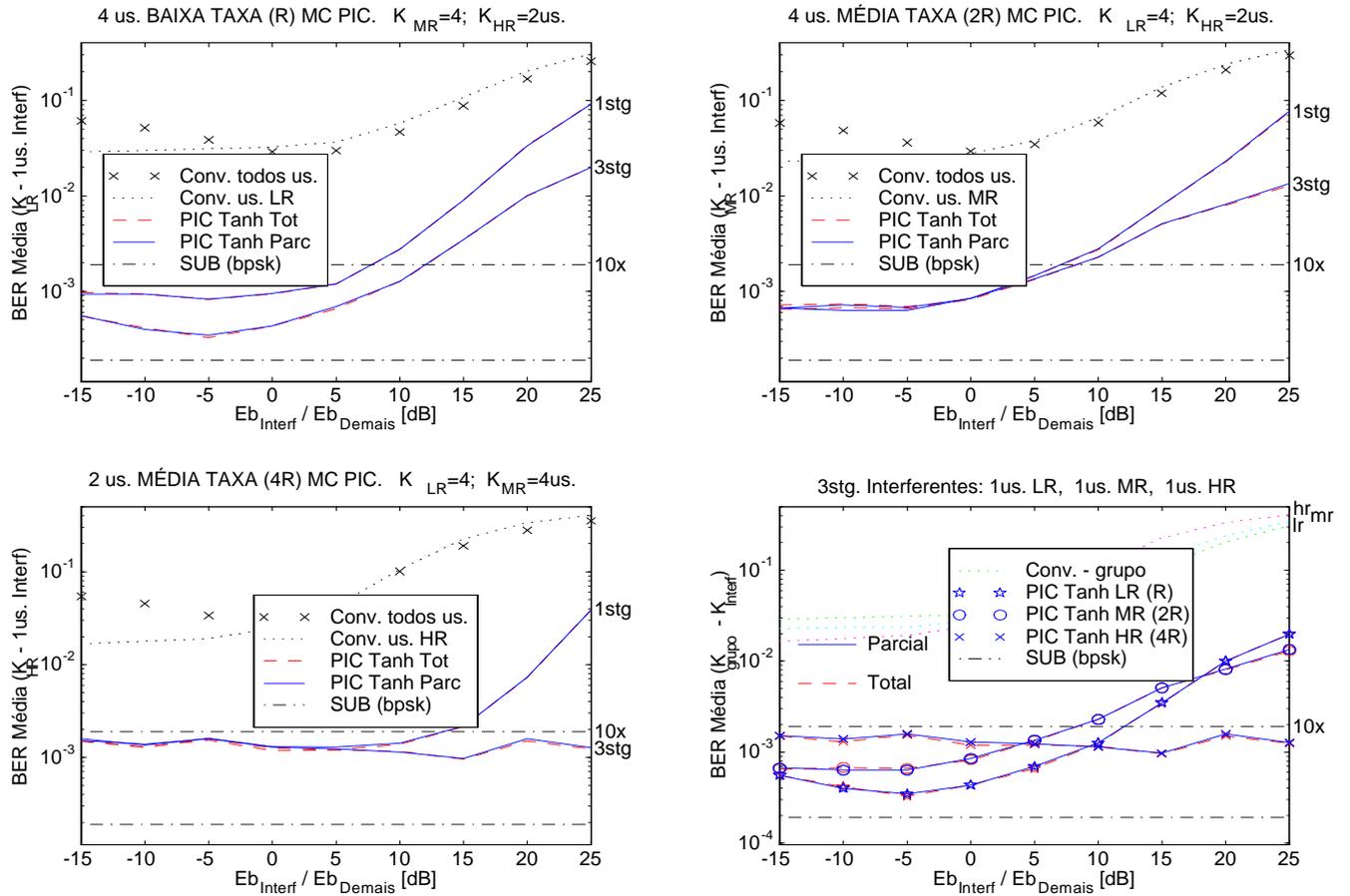


Figura 5.28. Robustez *near-far* para a versão B do MPG–GSIC Tanh Total e Parcial assíncronos; são mostrados o 1º e 3º estágios; carregamento $L = 62, 5\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.

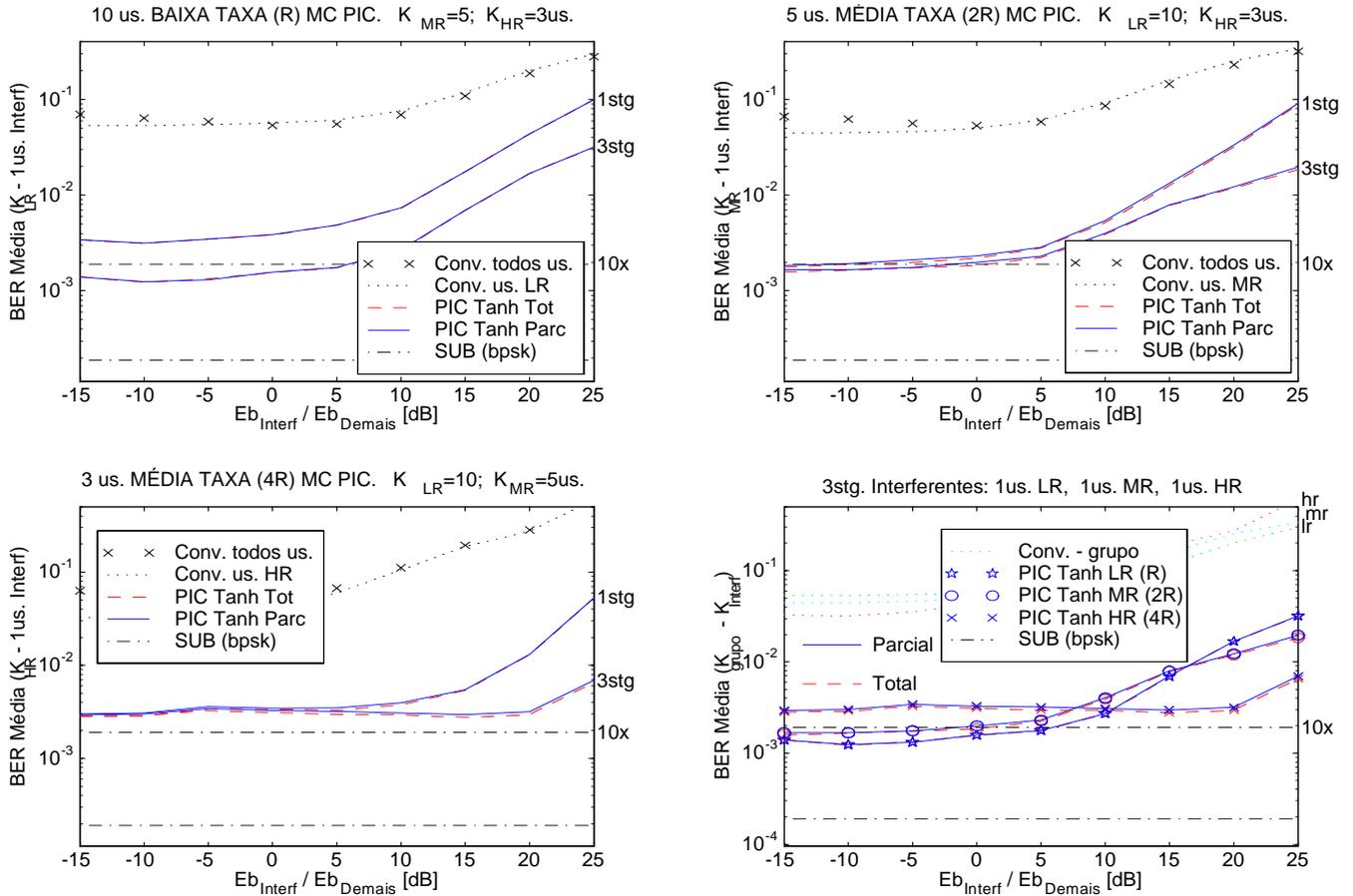


Figura 5.29. Robustez *near-far* para a versão C do MPG–GSIC Tanh Total e Parcial assíncronos; são mostrados o 1º e 3º estágios; carregamento $L = 100\%$, $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e ξ_v distintos por grupo.

5.5 Multitaxa Híbrido MC/MPG com Cancelamento de Interferência Híbrido (Série/Paralelo)

Buscando evitar o indesejado efeito *near-far* gerado pelos usuários MPG de taxas elevadas, o esquema híbrido MC/MPG da figura 5.30 propõe uma solução de compromisso entre redução do efeito *near-far* e disponibilidade de um número razoável de seqüências de espalhamento em um ambiente multitaxa, principalmente quando as diferenças entre as razões de taxas forem elevadas. Assim, os sinais dos usuários de maior taxa em um sistema de múltipla taxa são transmitidos e processados a partir de um esquema MC, aliviando a redução da imunidade de supressão de interferência, causada pela redução no ganho de processamento, caso fosse empregado esquema MPG; além do fato do esquema MC permitir a redução das amplitudes transmitidas.

Em contrapartida, ter-se-á um aumento no número de seqüências interferentes, porém com maior capacidade de rejeição de interferência (ganho de processamento máximo).

A figura 5.30 apresenta o princípio empregado na detecção de usuários multitaxa em um esquema híbrido combinando MPG (bloco de usuários MR) e MC (bloco de usuários LR e HR), com cancelamento sucessivo de sinais por bloco e detecção paralela multiestágio para cada bloco de usuários de mesmo esquema, denominado aqui **MC/MPG–GSIC Tanh**.

Os sinais dos três grupos de usuários multitaxa são processados e detectados em dois blocos utilizando cancelamento paralelo multiestágio em cada bloco. No processamento e detecção dos sinais, os usuários LR e HR , transmitidos a partir de canais paralelos (MC), são reunidos em um primeiro bloco. Uma vez que os dados dos usuários de taxa média (MR) são transmitidos utilizando-se do esquema MPG, os sinais destes usuários formarão um segundo grupo. Como os sinais deste grupo são transmitidos com maior amplitude, isto é $\sqrt{m_{MR}} \cdot A$, com A = amplitude normalizada para usuários MC, o grupo de usuários MR será detectado prioritariamente de modo paralelo. A seguir, realiza-se a detecção sucessiva interblocos, eliminando-se virtualmente do sinal recebido a MAI gerada pelo bloco de usuários MR a partir da detecção, reconstrução e cancelamento destes sinais do sinal total recebido (modo pré-deteção). Dado que os grupos de usuários multitaxa LR e HR são modulados à taxa básica (MC), estes serão transmitidos com menores amplitudes relativas (A) em relação aos usuários MR (MPG). Esses usuários são agora detectados de modo paralelo em um segundo bloco (PIC Tanh parcial multiestágio) no modo pós-deteção, sendo então os sinais dos usuários HR remultiplexados no tempo. Finalmente, uma melhoria de desempenho para usuários MR , previamente detectados, pode ser obtida realizando-se o cancelamento G-SIC *estendido*, objetivando eliminar a maior parte possível da MAI gerada pelos usuários LR e HR , seguida pela detecção final MR em 1 ou 2 estágios canceladores paralelos.

Para o esquema **MC/MPG–GSIC Tanh** em canais AWGN foram obtidos extensos resultados de simulação Monte Carlo, tanto para sinais síncronos quanto assíncronos. Adotou-se os seguintes fatores de cancelamento não otimizados na detecção final paralela multiestágio por bloco de usuários, com notação $\xi_{bloco} = [\xi_1; \xi_2; \xi_3]$:

$$\xi_{HR_LR} = [0, 65; 0, 80; 0, 95]; \quad \xi_{MR} = [0, 75; 0, 85; 0, 98];$$

enquanto que na detecção inicial para o grupo MR foram utilizados dois estágios PIC parciais com os seguintes coeficientes:

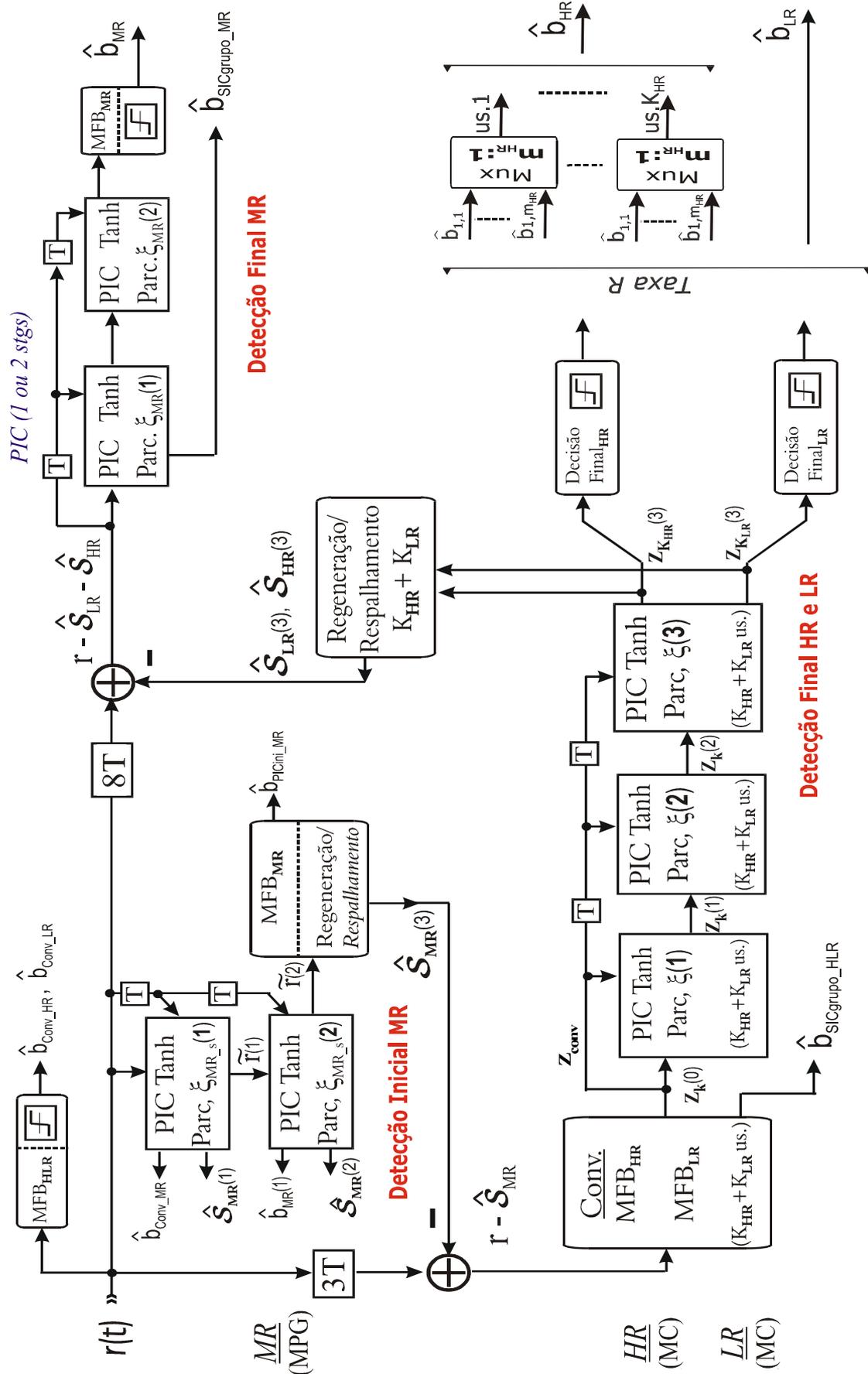


Figura 5.30. Detetor multitaxa híbrido MC/MPG-GSIC Tanh com usuários divididos em dois blocos: HR (MC) e MR e LR (MPG) combinado ao cancelamento paralelo na detecção de bloco.

$$\xi_{pre_MR} = [0, 75; 1, 00]$$

As seqüências de espalhamento para os usuários dos grupos MR (MPG) foram obtidas tomando-se os primeiros 16 chips de seqüências do conjunto de Gold31 estendida, descartando-se os demais chips, como descrito na seção 4.3. Novamente, foram utilizadas *estimativas soft* na reconstrução dos sinais dos usuários HR e LR visando o cancelamento dos sinais MR na etapa GSIC estendida; para as razões de taxa consideradas, considerou-se a base de integração em $N/2$ para a obtenção das estimativas dos sinais.

Uma vez que em canais AWGN *síncronos* as seqüências de Gold estendidas resultam todas ortogonais, para o caso dos usuários multitaxa MC (LR e HR) a interferência MAI será virtualmente nula, restando apenas a MAI gerada pelos usuários MR (MPG). Por sua vez, a etapa de detecção final para os usuários LR e HR (PIC Tanh Parc) só leva em conta a interferência gerada por estes dois grupos; como neste caso há ortogonalidade entre os usuários, os desempenhos em função do número de estágios canceladores serão muito próximos, mantida constante a população dos usuários MR . Evidentemente, um aumento desta população induzirá um crescimento na MAI residual presente no bloco detector PIC Tanh Parcial multiestágio. Assim, respeitada esta restrição, nesta etapa bastará apenas um único estágio PIC, reduzindo a complexidade de implementação.

5.5.1 MC/MPG–GSIC Tanh - Resultados de Simulação para Canal Assíncrono AWGN

A conclusão anterior ainda pode ser considerada parcialmente válida também para canais assíncronos. As figuras 5.31, 5.32 e 5.33 mostram o desempenho médio sobre os usuários fracos em função do ponto de operação do sistema, E_b/N_o , nos casos de população fixa de usuários multitaxa e igual a $K_{Fis} = [4; 4; 2]$ e $K_{Fis} = [10; 5; 3]$, resultando em carregamentos efetivos de 20 e 32 usuários. A figura 5.32 mostra a degradação de desempenho na condição de desbalanceamento de potência para um usuário em cada taxa, resultando, respectivamente, em $NFR = [3; 6; 10]$ dB. Estão representados também os desempenhos obtidos na etapa GSIC, imediatamente após o cancelamento sucessivo de bloco e antes do cancelamento paralelo dos sinais nos estágios finais, denominado SIC–Grp nos gráficos e identificados na figura 5.30 por $\hat{b}_{SICgrupo_HLR}$ e $\hat{b}_{SICgrupo_MR}$. Note-se que a maior parte da melhoria de desempenho é obtida com o primeiro, e sob certas condições, com o segundo estágio PIC final. Para os gráficos do grupo MR representa-se também o desempenho obtido após os dois estágios canceladores paralelos iniciais, PIC inicial, e indicado na figura 5.30 por \hat{b}_{PICini_MR} .

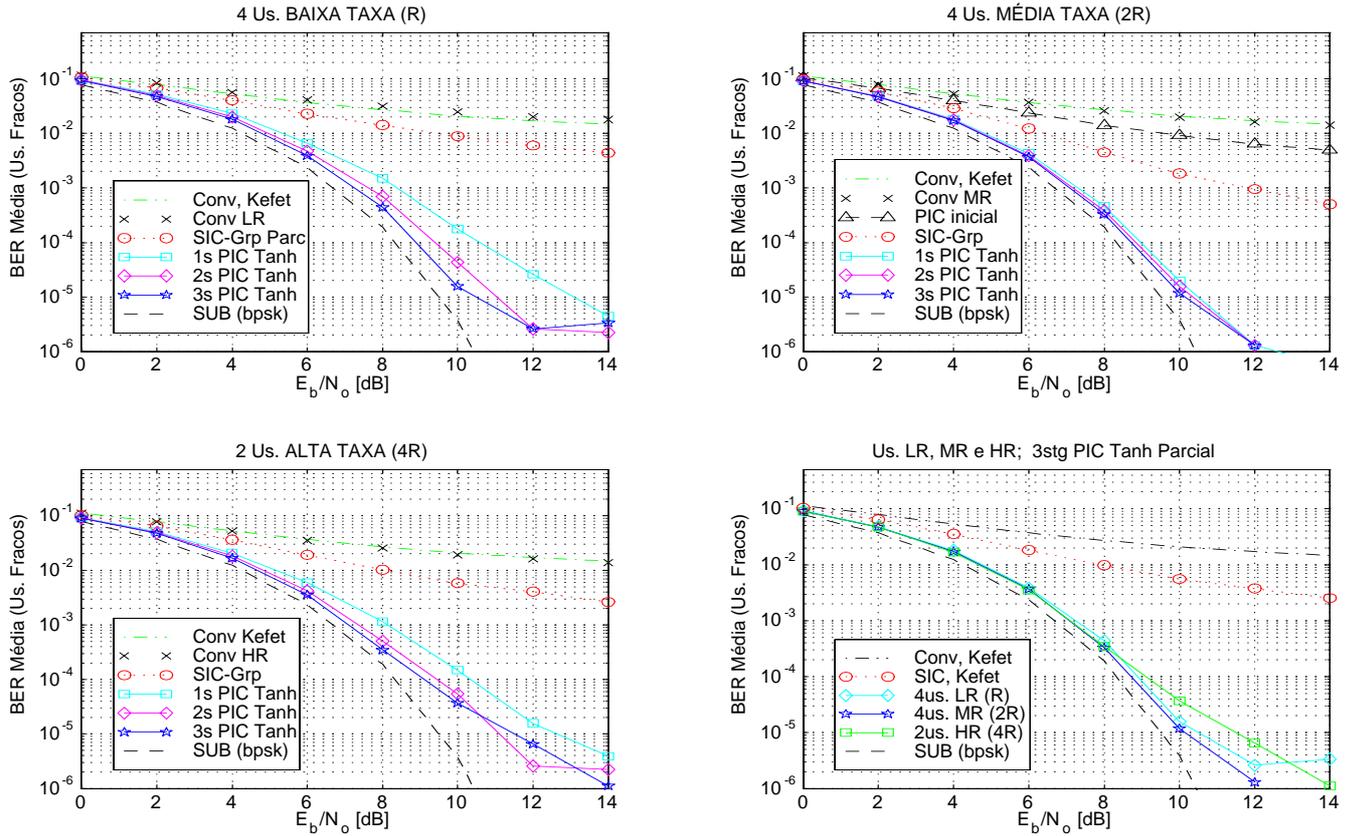


Figura 5.31. $\overline{BER} \times E_b/N_0$ para $K_{Efet} = 20$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as *estimativas soft*; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR,LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $NFR = 0$.

Por exemplo, quando o sistema estiver *leve* ou *medianamente carregado*, basta um único estágio paralelo cancelador nas etapas finais de detecção de bloco, usuários *MR* ou *HR* e *LR*. Por sua vez, quando o sistema estiver altamente carregado e/ou não houver controle perfeito de potência, figuras 5.32 e 5.33, dois estágios canceladores são necessários na detecção do bloco de usuários *HR* e *LR* (MC), devido ao aumento da MAI residual não cancelada gerada pelos usuários do bloco *MR* (MPG) e/ou pela dificuldade do algoritmo PIC Parcial tratar os desajustes de potência considerando um único coeficiente ξ para todos os sinais processados e detectados no mesmo estágio. Note-se que um terceiro estágio para o bloco de usuários *HR* e *LR* pouco contribui na melhoria do desempenho. Já para o bloco de usuários *MR* (multitaxa MPG) a inclusão do segundo estágio cancelador resultará em um melhoria substancial de desempenho apenas na condição de forte carregamento, como mostra a região $L \approx 100\%$ do gráfico superior direito na figura 5.34; e/ou quando houver efeito *near-far* de usuário pertencente ao próprio grupo MPG, como indicado nas figuras 5.36, 5.37, ou seja quando houver pelo menos um usuário do grupo *MR* interferente com $E_{Interf}/E_{Demais} \gtrsim +10dB$ para sistemas mediana e altamente carregados. Nestas condições, até o terceiro estágio cancelador poder resultar

em melhoria de desempenho considerável; note-se que para $NFR_{MR} = 6$ dB e sistema operando com $E_b/N_0 = 8$ dB, o ganho obtido com o terceiro estágio cancelador na etapa de detecção final dos usuários MR ainda não é significativo, mesmo para a região de alto carregamento, como indicado no gráfico superior direito na figura 5.35.

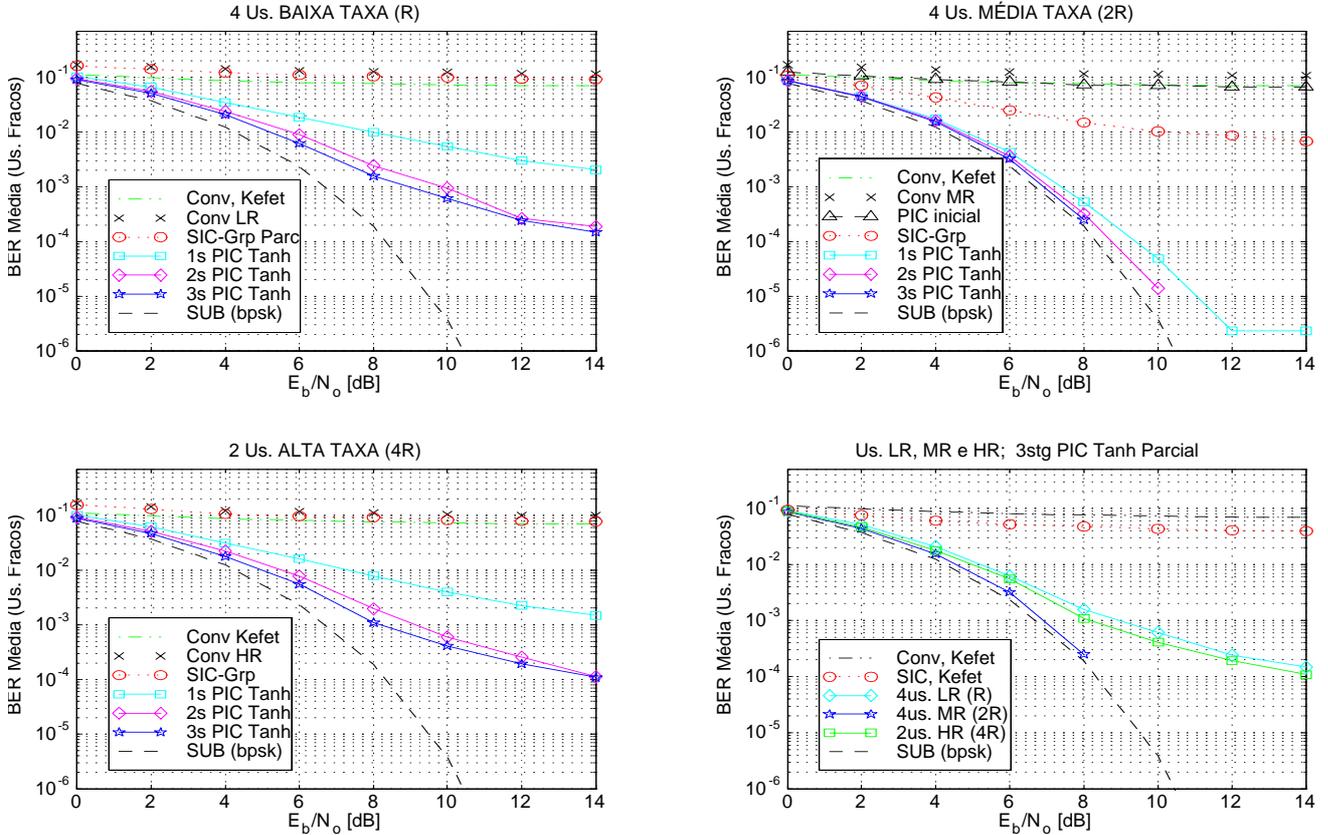


Figura 5.32. $\overline{BER} \times E_b/N_0$ para um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ dB e $K_{E_{fet}} = 20$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as estimativas soft; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$.

Desta forma, a estrutura do MC/MPG–GSIC Tanh resultará em menor complexidade de implementação que por exemplo as três versões da estrutura MPG-GSIC Tanh sem que haja elevação no tempo de processamento; adicionalmente, o desempenho na região de alta E_b/N_0 para todos os grupos será nitidamente superior no esquema híbrido MC/MPG–GSIC Tanh; compare-se os desempenhos obtidos nas figuras 5.33 com 5.26; para a região de E_b/N_0 média esta vantagem se mantém, sendo que a estrutura MC/MPG–GSIC Tanh atinge robustez *near-far* da ordem de $\Upsilon \gtrsim 3$ dB, já com o primeiro estágio, mesmo sob forte carregamento, enquanto que a estrutura MPG-GSIC Tanh não atingirá a robustez *near-far*, mesmo considerando o terceiro estágio; compare a figura 5.37 com a 5.29.

Observe-se a efetividade do esquema híbrido MC/MPG na obtenção de uma melhoria da robustez *near-far* em relação à estrutura MPG-GSIC Tanh. De fato, a redução da interferência gerada

pelo grupo *HR* devido à mudança no esquema multitaxa, de MPG → MC, implicando, para as relações de taxa consideradas, em uma redução nas amplitudes transmitidas de $2A \rightarrow A$, aliada às razoáveis características de correlação do conjunto de seqüências de Gold31 estendidas, resulta finalmente em uma melhoria global da robustez *near-far* para os três grupos de usuários multitaxa, independentemente do carregamento do sistema; compare-se as figuras 5.36 com 5.28; há um incremento considerável na robustez *near-far* principalmente para o grupo *MR* e apesar do melhor comportamento da Υ para os usuários *HR* no esquema MPG-GSIC Tanh quando $L = 62,5\%$, a estrutura mostra-se ineficiente quando o carregamento se eleva para $L = 100\%$, figura 5.29, quando comparado ao desempenho do esquema híbrido MC/MPG GSIC Tanh, figura 5.37.

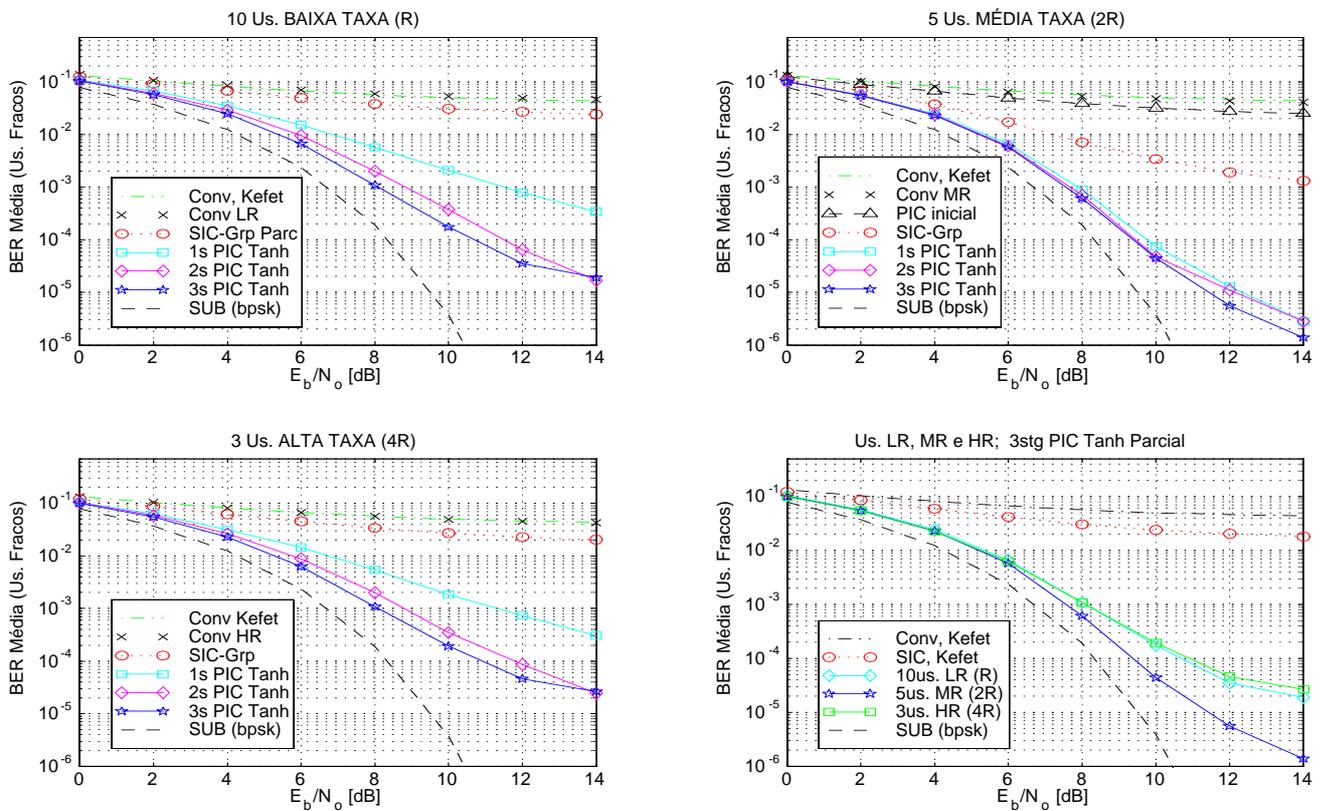


Figura 5.33. $\overline{BER} \times E_b/N_o$ para $K_{E_{fet}} = 32$; híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono com base de integração em $N/2$ para as *estimativas soft*; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $NFR = 0$

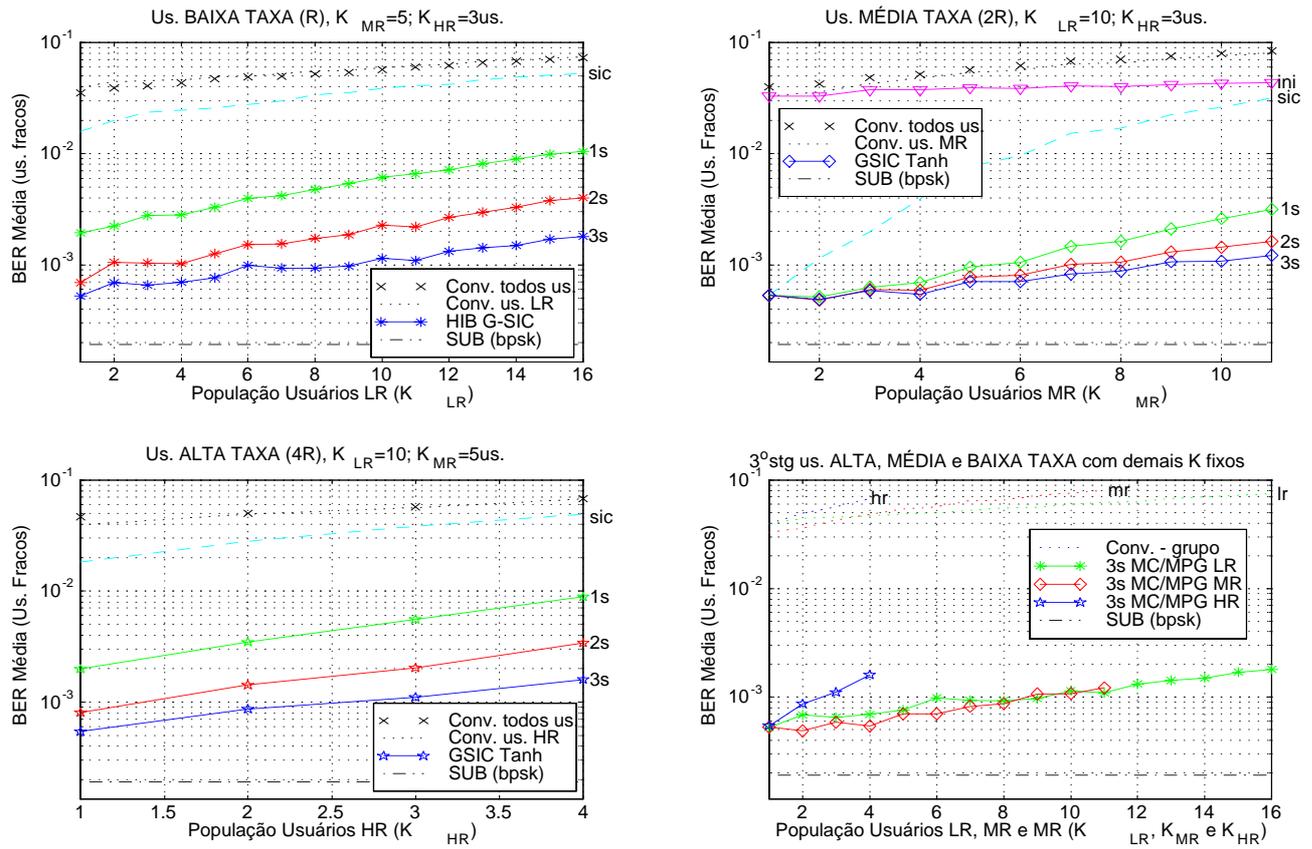


Figura 5.34. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico em um híbrido MC/MPG–GSIC Tanh assíncrono com base de integração em $N/2$ para as *estimativas soft*; usuários divididos em 2 blocos; $NFR = 0$ e $E_b/N_0 = 8$ dB.

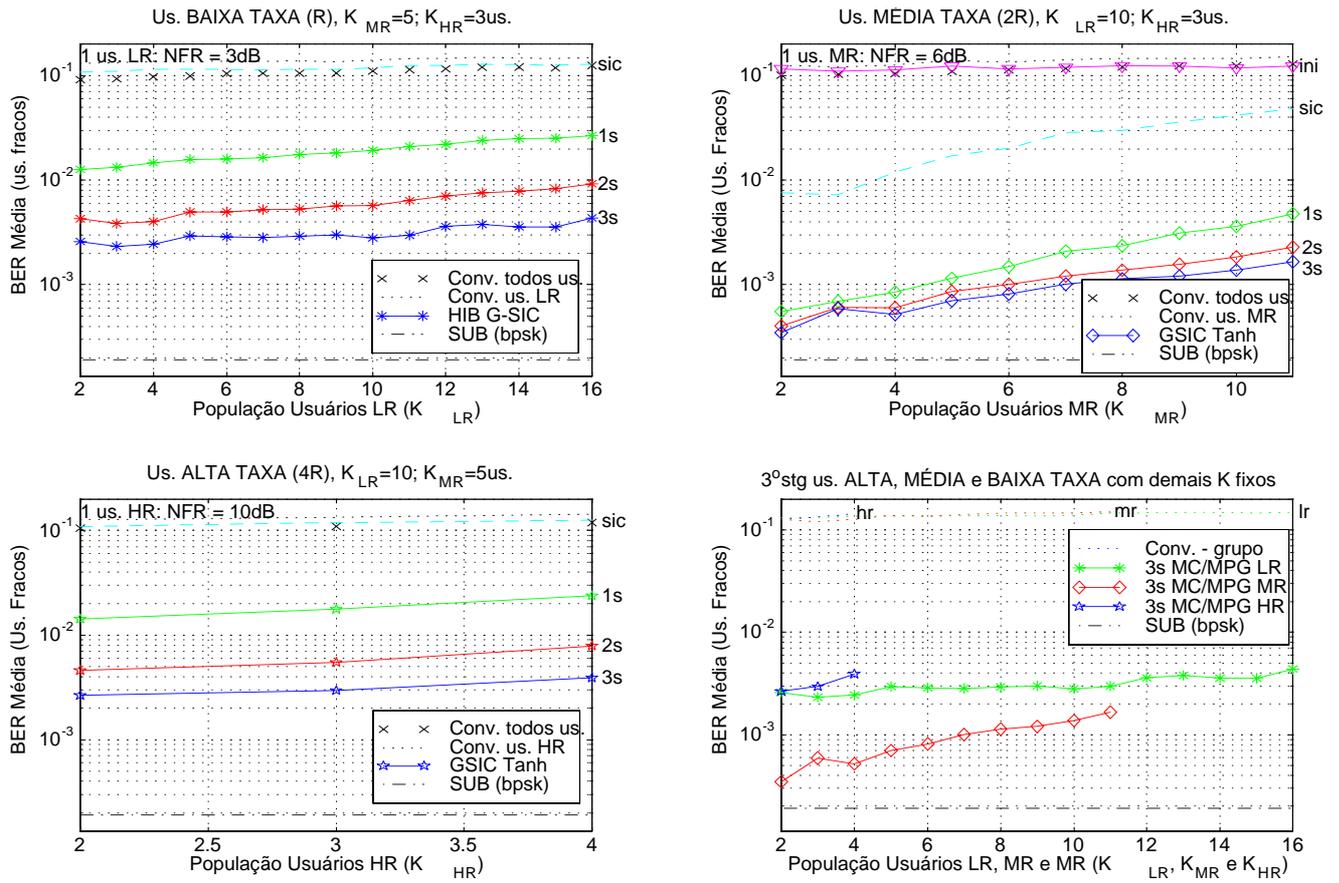


Figura 5.35. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico com um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ em um híbrido MC/MPG-GSIC Tanh assíncrono com base de integração em $N/2$ para as *estimativas soft*; usuários divididos em 2 blocos com $N_{HR_LR} = 32$ e $N_{MR} = 16$; $E_b/N_0 = 8dB$.

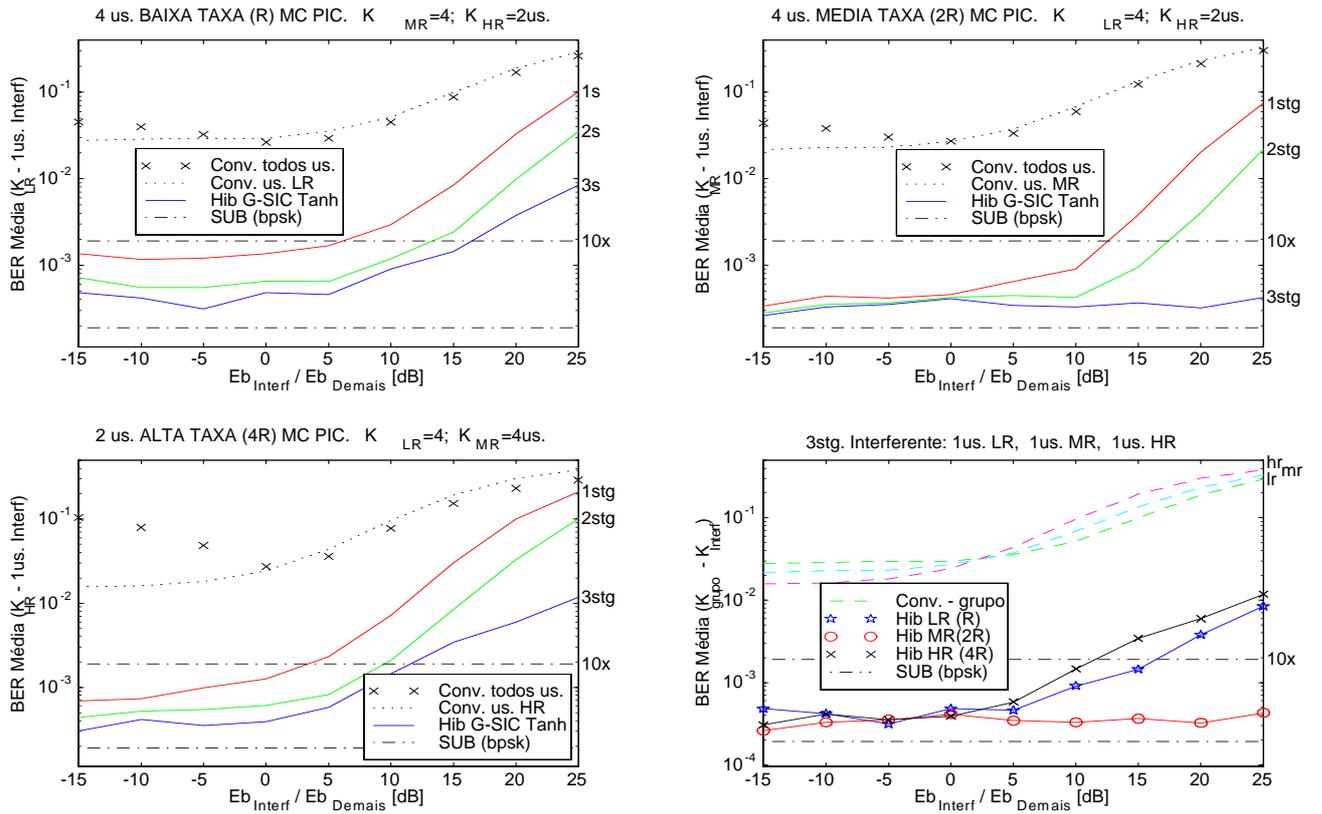


Figura 5.36. Robustez *near-far* para o híbrido MC/MPG–GSIC Tanh Parcial assíncrono de 3 estágios; $K_{Efet} = 20$ usuários e $E_b/N_0 = 8$ dB.

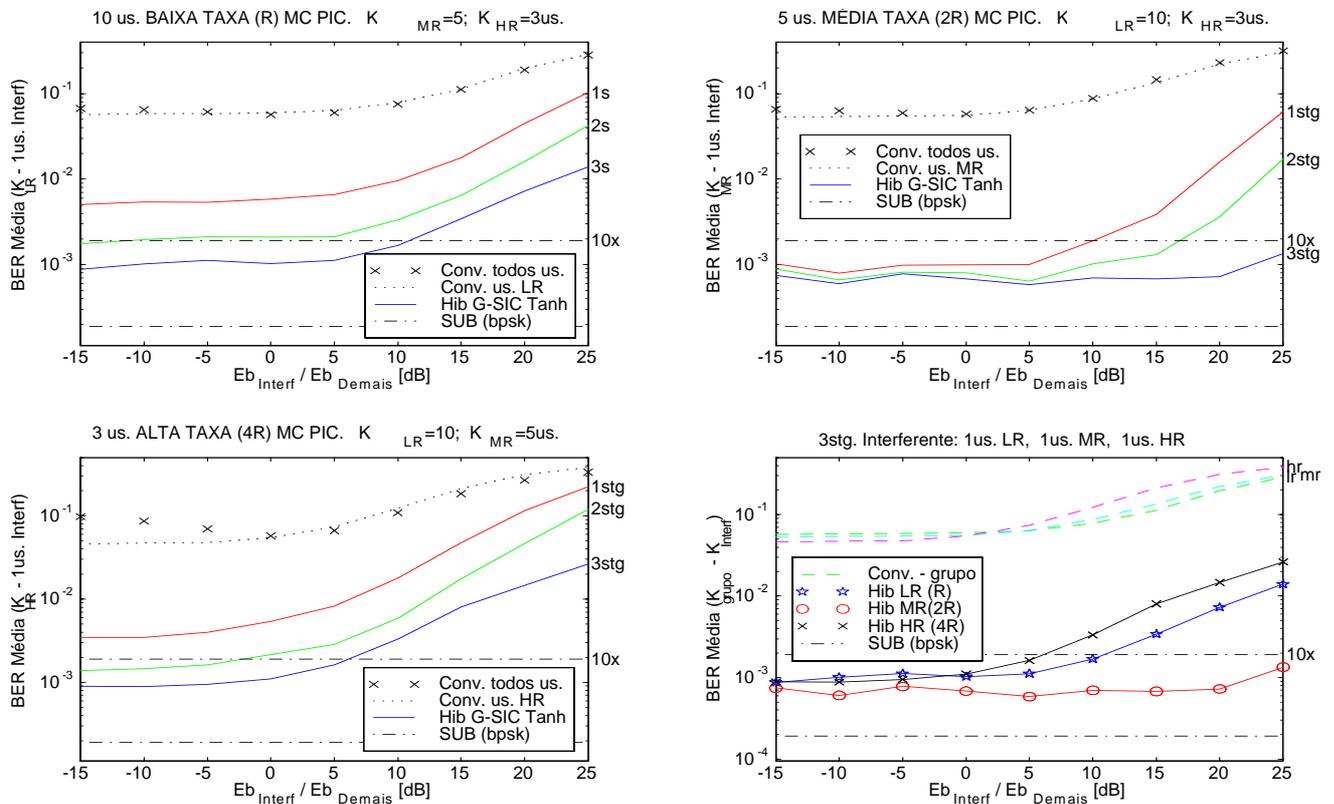


Figura 5.37. ídem à figura 5.36, exceto $K_{Efet} = 32$.

5.6 Multitaxa MC com Cancelamento de Interferência Híbrido

O princípio descrito na seção 2.4.5 para o cancelamento de interferência de grupo do tipo $K/P/S$ é associado aqui ao esquema de múltipla taxa MC. Na figura 5.38 procede-se ao agrupamento, processamento e cancelamento dos sinais multitaxa seguindo um critério adaptativo para a determinação do número de etapas paralelas, P e seriais, S . Este critério leva em conta as disparidades (variância) das energias de todos os sinais multitaxa recebidos; a este esquema denominar-se-á **MC–GSIC Tanh**.

Este esquema torna-se atraente em ambiente com forte *near-far*, implementando de forma flexível as ótimas características de detecção do cancelador de interferência SIC quando os sinais forem recebidos com potência distintas. Além disto, como descrito na tabela 2.4, o número total das etapas de cancelamento seriais depende da amplitude das disparidades das potências recebidas. Seguindo o critério proposto na tabela, nas simulações Monte Carlo desta seção foram adotados os mesmos valores para fatores de cancelamentos, sendo adotando também o número máximo de etapas de cancelamentos sucessivos $S = 3$.

Note-se que caso haja relativa similaridade entre as potências recebidas, o esquema MC–GSIC Tanh reduzir-se-á ao MC–PIC Tanh da seção 5.2. Na outra situação limite, caso haja dispersão de valores de potências recebidas, ter-se-á um SIC, ou seja $S = K_{Fis}$ com P variável e igual ao número de canais paralelos empregados em cada um dos K_{Fis} usuários multitaxa MC. Lembre-se que em MC e canal AWGN os sinais dos canais paralelos de um mesmo usuário experimentam os mesmos atrasos.

A seguir serão analisados resultados de simulação MCS para a estrutura híbrida MC–GSIC Tanh com cancelamento parcial e total em canal AWGN assíncrono.

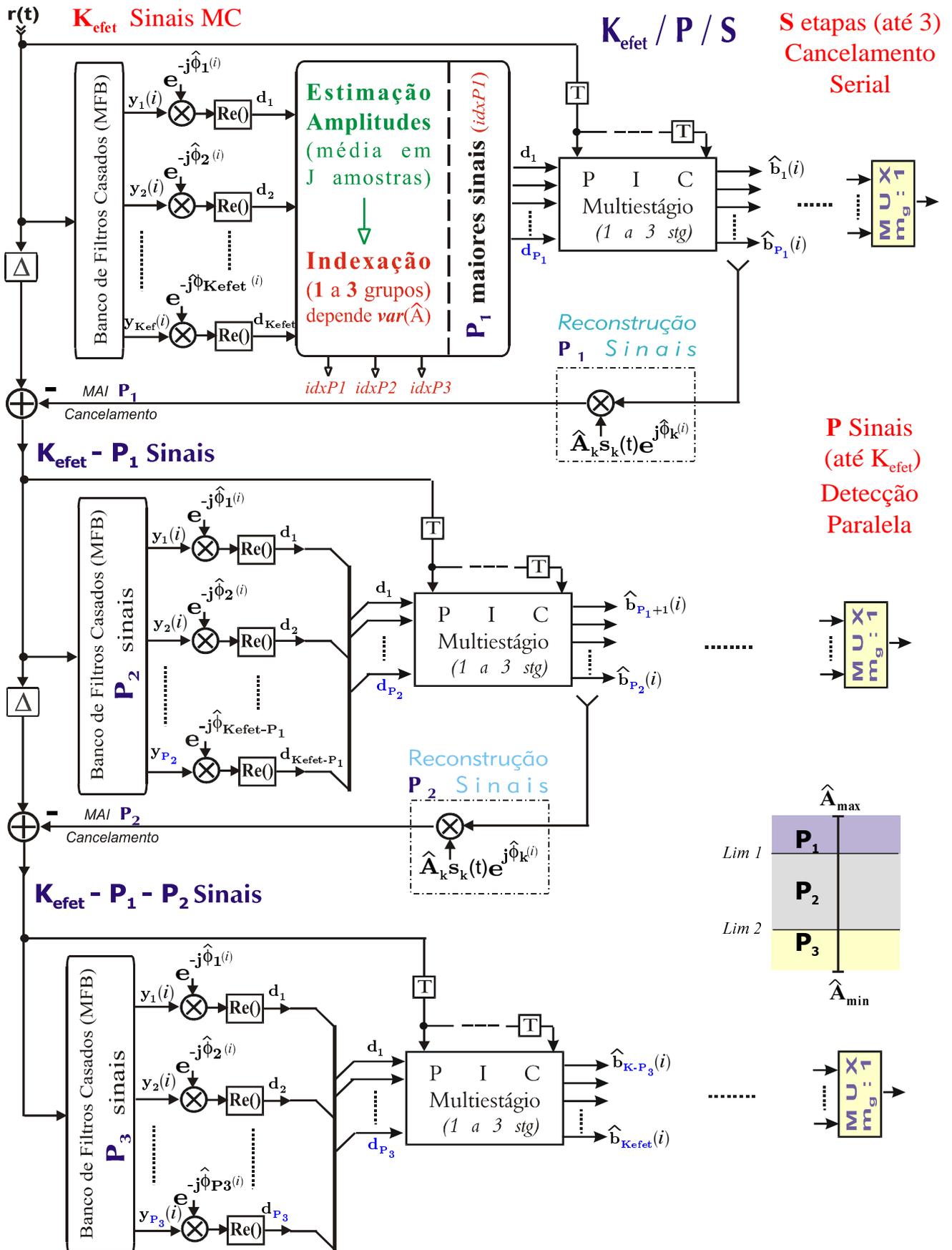


Figura 5.38. Esquema Multitaxa MC associado ao cancelamento híbrido $K_{efet} - P - S$ configurável com até $S = 3$ etapas canceladoras seriais e P_1, P_2 e P_3 conjuntos de usuários agrupados segundo critério de similaridade de energias recebidas.

5.6.1 Resultados de Simulação MCS em canal AWGN Assíncrono

Desempenhos médios sobre os usuários fracos de um mesmo grupo multitaxa MC em função de $\frac{E_b}{N_0}$ do sistema são considerados nas figuras 5.39 e 5.40. Note-se que na condição de *controle imperfeito de potência* e mesmo sob forte efeito *near-far* a estrutura híbrida MC–GSIC Tanh atinge excelentes desempenhos. Quando os interferentes para os três grupos multitaxa apresentam os mesmos desajustes de energia recebida, como por exemplo um usuário em cada grupo com +10dB, isto é, $NFR = [10; 10; 10]$, o resultado final são desempenhos médios por grupo muito similares, figura 5.39. Ainda aqui, os desempenhos médios alcançados no terceiro estágio com o esquema de cancelamento parcial e valores de ξ não otimizados são praticamente iguais aos obtidos com o cancelamento total, sendo levemente superiores apenas na região de alto E_b/N_0 .

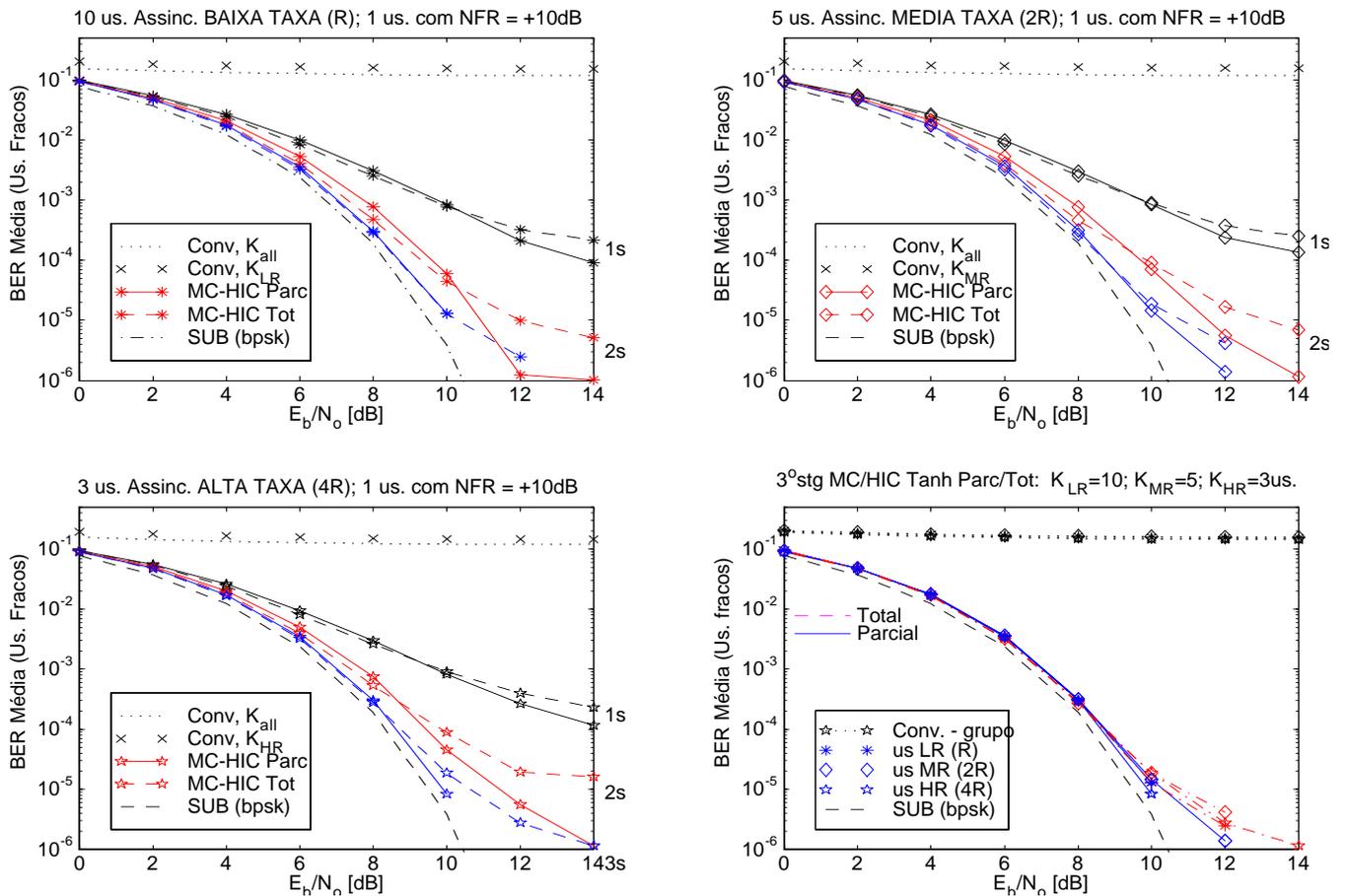


Figura 5.39. $\overline{BER} \times K_{Grp}$ fracos em cada um dos estágios de um PC–GSIC Tanh Total e Parcial com $\xi =$ não otimizados e um usuário por grupo com $NFR = +10\text{dB}$ ($S = 2$); $L = 100\%$.

Já a figura 5.40 indica o excelente desempenho para o um único usuário fraco por grupo, isto é quando todos os demais usuários de cada grupo apresentam forte efeito *near-far*: $K_{HR} = 1$ com $NFR_{HR} = 20\text{dB}$; $K_{MR} = 1$ com $NFR_{MR} = 10\text{dB}$ e $K_{LR} = 1$ com $NFR_{LR} = 5\text{dB}$. Isto se deve à

flexibilidade desta estrutura GSIC, rearranjando o número de etapas seriais ($S = 3$) afim de melhor detectar o sinais com potência díspares.

Note-se que na condição de controle perfeito de potência o número de etapas seriais reduz-se a $S = 1$ e portanto o desempenho médio para a estrutura híbrida torna-se idêntico ao obtido com a estrutura MC–PIC Tanh, figuras 5.4 e 5.6.

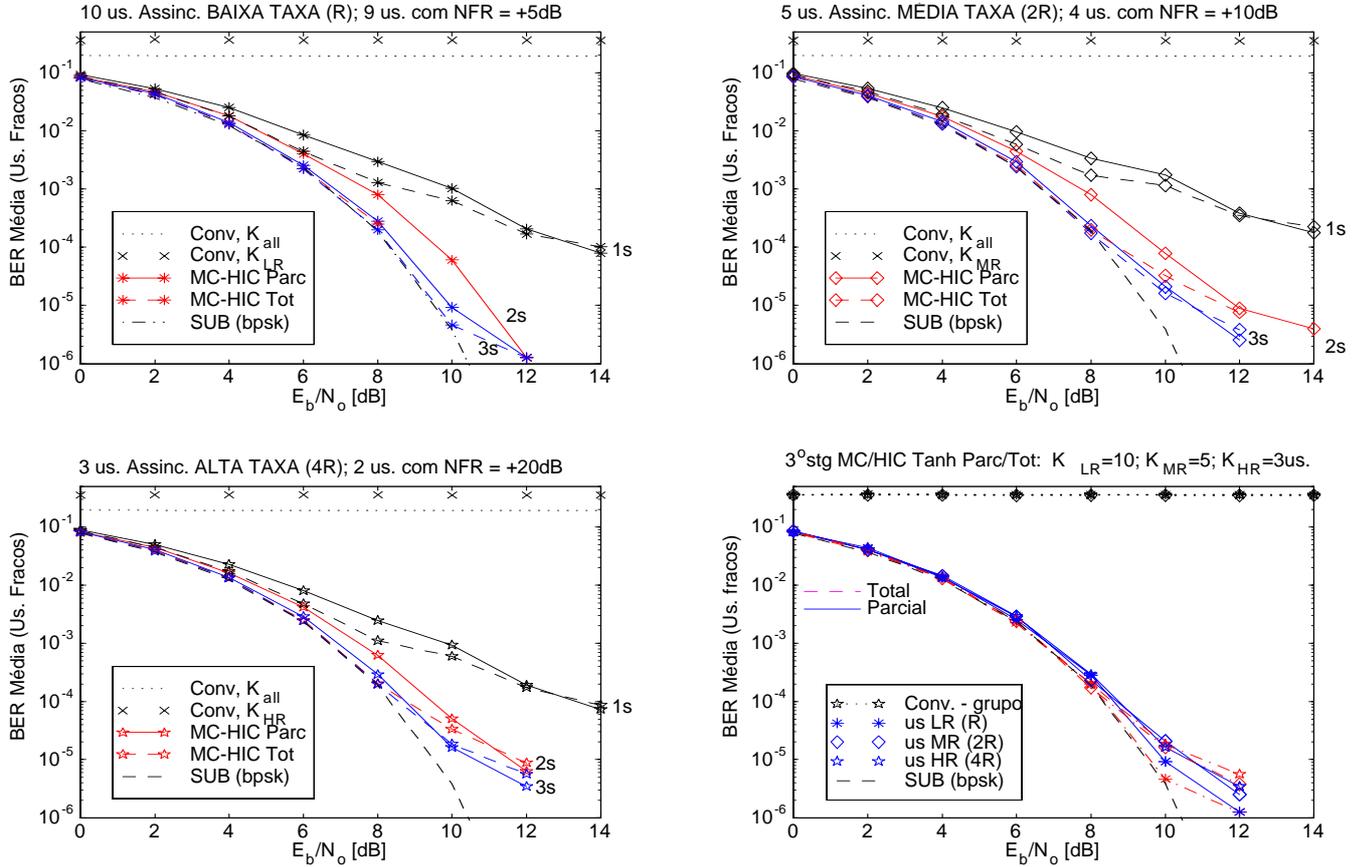


Figura 5.40. Idem à figura 5.39, porém apenas com um usuário por grupo fraco: $K_{Grp} = 1$ usuários com $NFR = [+5; 10; 20]$ dB, resultando em $S = 3$.

Quando houver um certo controle perfeito de potência, isto é, amplitude relativa máxima não exceder 5 dB, a estrutura híbrida MC–GSIC Tanh proposta aqui será reduzida a um PIC de três estágios com coeficientes $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$, ou seja, $S = 1$, como descrito na primeira linha da tabela 2.4. Nesta condição, a figura 5.41 ilustra o comportamento para o desempenho médio dos três grupos de usuários multitaxa em função do crescimento da população de usuários de um dado grupo, mantido fixo o número de usuários dos outros dois grupos. Note-se a semelhança com o comportamento do desempenho médio da estrutura MC–PIC Tanh, figura 5.7; exceto pela população de usuários inicial distinta, o comportamento para o desempenho é muito similar.

O desempenho para cancelamento parcial de três estágios com os valores de ξ adotados superou o cancelamento total apenas marginalmente na condição de controle perfeito de potência e para

carregamentos de sistema na região de $L = 100\%$, como indicam as figuras 5.41. 5.43, 5.42, 5.44. Adicionalmente, comprova-se nestas figuras o ótimo comportamento para o desempenho médio dos usuários multitaxa em função do aumento da população de usuários de mesma taxa, sob a condição de controle perfeito de potência ou sob forte efeito *near-far* de dois usuários em cada taxa com $NFR = [5; 10; 20]$ dB, figura 5.44 ou considerando apenas um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ dB, figura 5.43. Observe-se que nesta análise foram considerados três estágios canceladores paralelos na condição $S = 3$ (alta disparidade de potências recebidas), e não dois estágios, como sugerido na tabela 2.4, terceira linha.

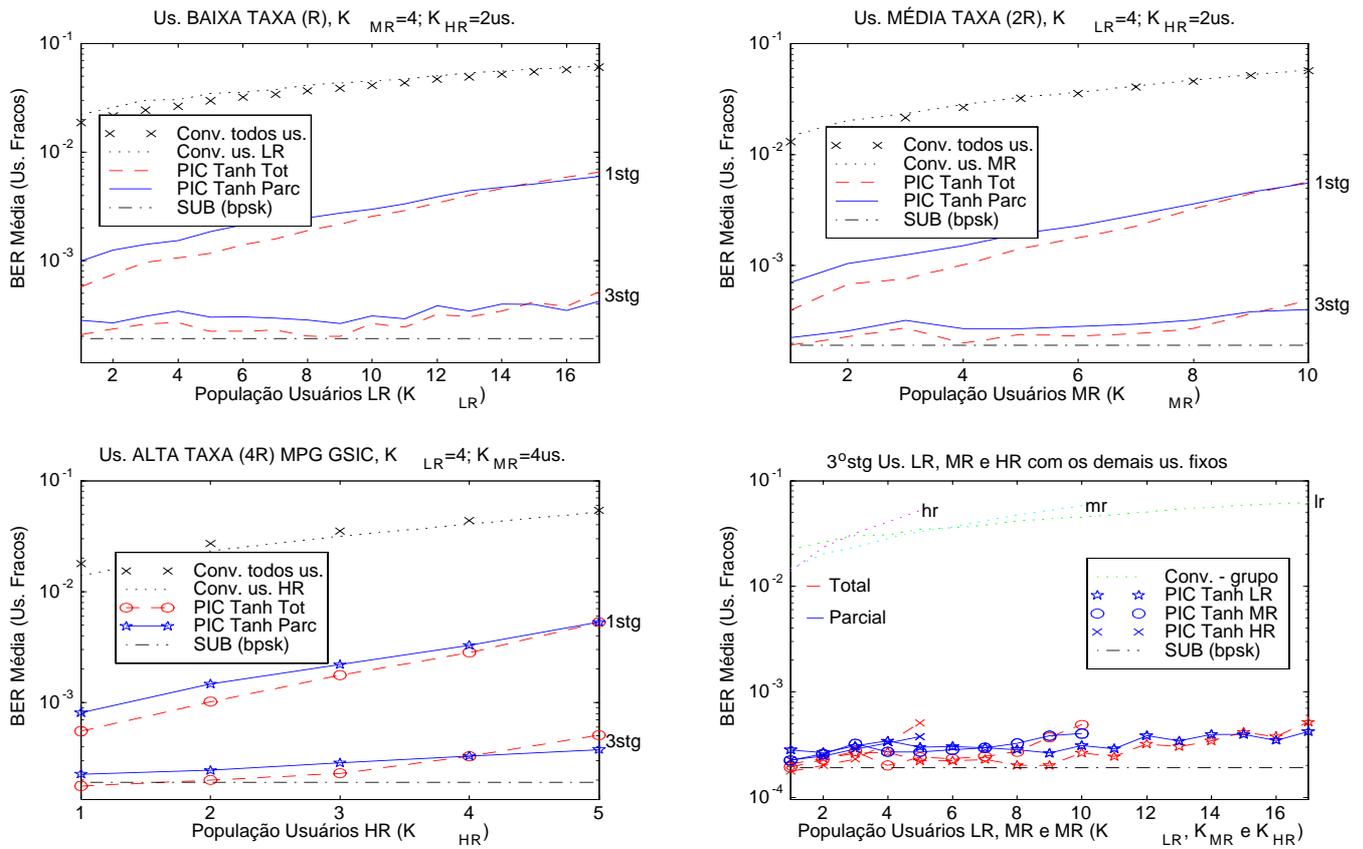


Figura 5.41. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC-GSIC Tanh assíncrono com controle perfeito de potência ($S = 1$), $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

A robustez *near-far* para a estrutura híbrida MC-GSIC Tanh Parcial e Total é mostrada na figura 5.45, considerando $\frac{E_b}{N_0} = 8$ dB e carregamento efetivo $L = 100\%$. Para os três grupos de usuários, como há apenas um interferente MC com potência variável em relação aos demais, a estrutura híbrida MC-GSIC separará os sinais dos canais paralelos deste usuário ($m_g = 1, 2$ ou 4 canais paralelos para um usuário LR, MR e HR , respectivamente) detectando este usuário em primeiro lugar, caso sua amplitude seja $|A_{Interf}| \geq 5$ dB; nesta situação, a configuração $K_{Efet}/P/S$ será: $S = 2, P_1 = m_g$ e $P_2 = K_{Efet} - m_g$. Quando $|A_{Interf}| < 5$ dB, a estrutura híbrida se reduz a um PIC de três estágios,

sendo todos os sinais multitaxa recebidos detectados paralelamente, isto é $S = 1$ e $P_1 = K_{E_{fet}}$. Esta configuração justifica os dois picos de pior desempenho em $|E_{Interf}/E_{Demais}| = 5\text{dB}$ nas figuras 5.45 e 5.46, justamente no limite da disparidade de amplitudes recebidas onde ainda o algoritmo considera apenas uma etapa de cancelamento parcial, $S = 1$. Para reduzir ou mesmo eliminar estes picos na redução do desempenho, basta reduzir a faixa de classificação para as disparidades das potências recebidas, aumentando-se consequentemente o número de etapas de cancelamento seriais, S ; e/ou ainda aumentar o número de estágios de cancelamento paralelo; estas mudanças na topologia da estrutura híbrida MC-GSIC Tanh acarretam um aumento na complexidade de implementação e no tempo de processamento dos sinais.

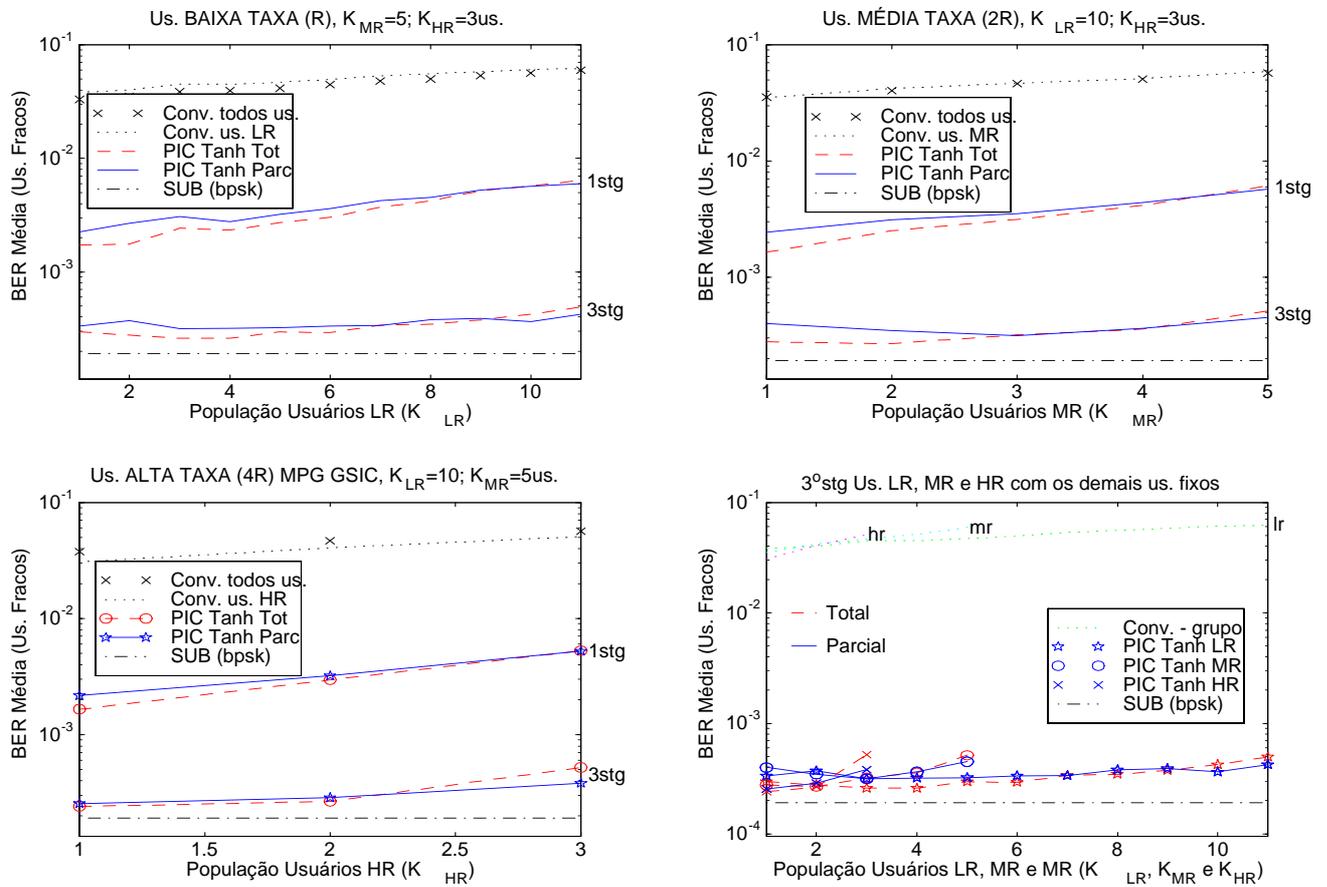


Figura 5.42. Idem à figura 5.41, porém com população inicial fixa maior, $K_{LR} = 10$; $K_{MR} = 5$; $K_{HR} = 3$ usuários.

Uma vez que a escolha dos coeficientes de cancelamento parcial foi obtida por busca iterativa não exaustiva, não sendo otimizados analiticamente, os resultados obtidos para a estrutura MC-GSIC Tanh Parcial superaram os do esquema com cancelamento total apenas na região de elevado carregamento e mesmo assim apenas marginalmente. De forma análoga aos resultados obtidos com o MC-PIC Tanh, pode-se atingir a inversão de desempenho otimizando-se os valores de ξ para cada carregamento, ponto de operação do sistema e ainda, quando houver efeito *near-far*, para cada

usuário. Uma simples elevação no ponto de operação do sistema para $E_b/N_0 = 10\text{dB}$ permite a obtenção de melhores desempenhos do MC-GSIC Tanh Parcial sobre o Total, como mostrado na figura 5.46, considerando carregamento efetivo de $L = 100\%$. Portanto, o cancelamento parcial para o decisor tanh em uma estrutura híbrida MC-GSIC Tanh em canal AWGN é efetiva, produzindo, sob certas condições de otimização dos coeficientes, melhores resultados que o cancelamento total.

Finalmente, note-se que mesmo sob forte efeito *near-far* de um interferente (região $NFR \gtrsim 15\text{dB}$), a estrutura híbrida MC-GSIC Tanh de 3 estágios em canal AWGN obtém *robustez near-far* ótima para as três grupos de usuários, ou seja $\Upsilon > 25\text{dB}$ para qualquer grupo e carregamento.

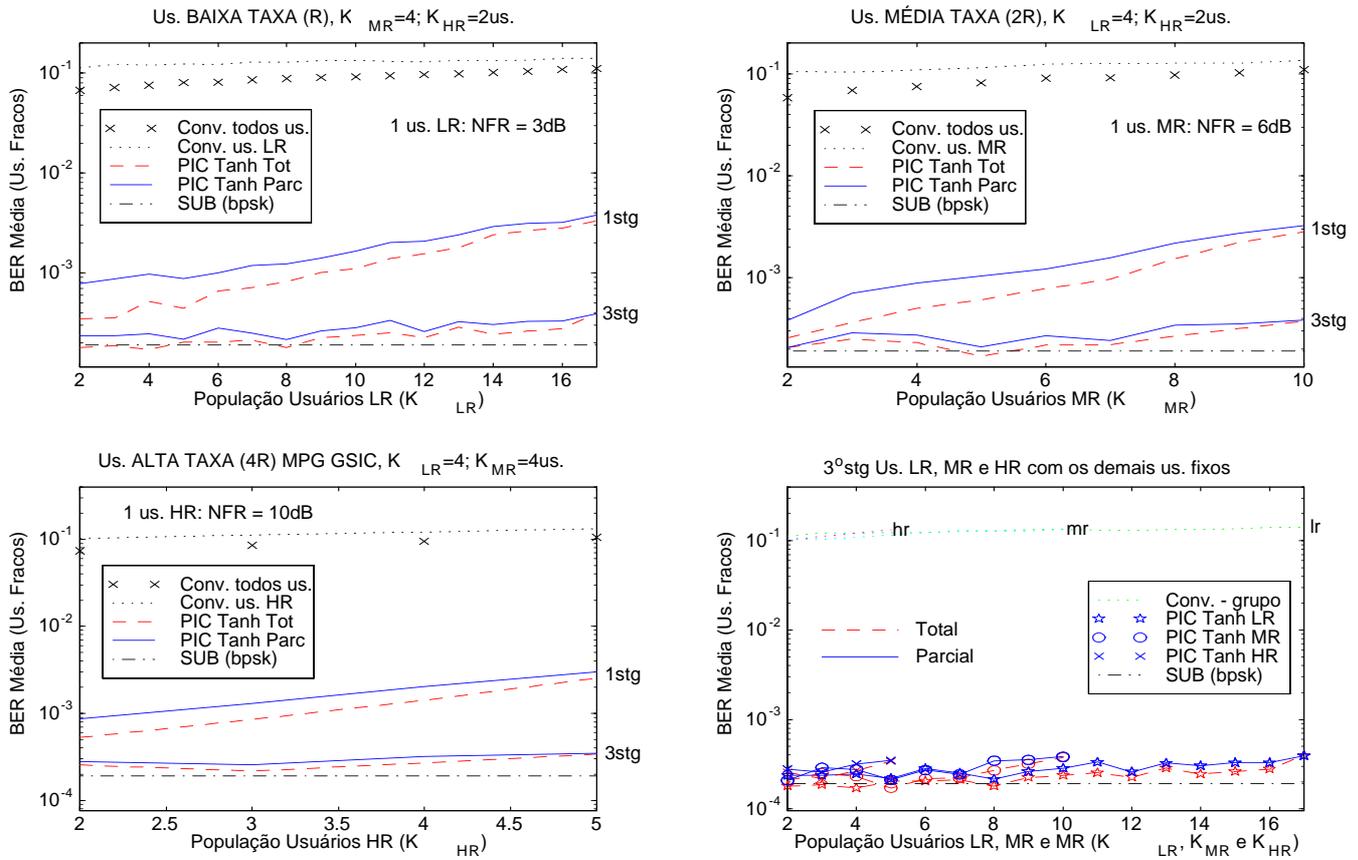


Figura 5.43. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC-GSIC Tanh assíncrono; um usuário por taxa com $NFR = [3; 6; 10]$ dB ($S = 3$), $\frac{E_b}{N_0} = 8\text{dB}$, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

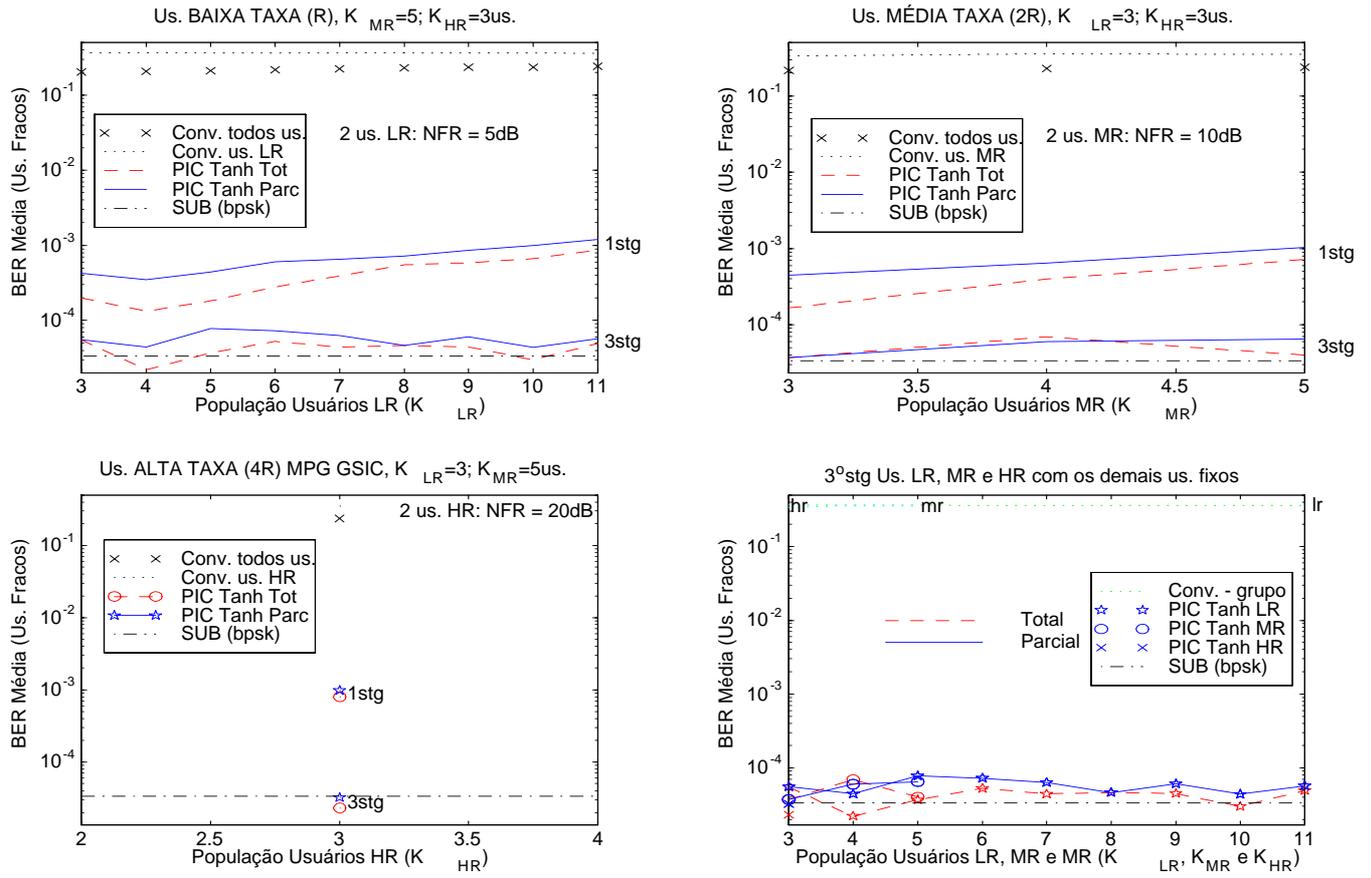


Figura 5.44. $\overline{BER} \times K_{Grupo}$ físico para MC-GSIC Tanh assíncrono; dois usuário por taxa com $NFR = [5; 10; 20]$ dB ($S = 3$), $\frac{E_b}{N_0} = 8dB$, Gold31 estendido e $\xi = [0, 7; 0, 8; 0, 9]$.

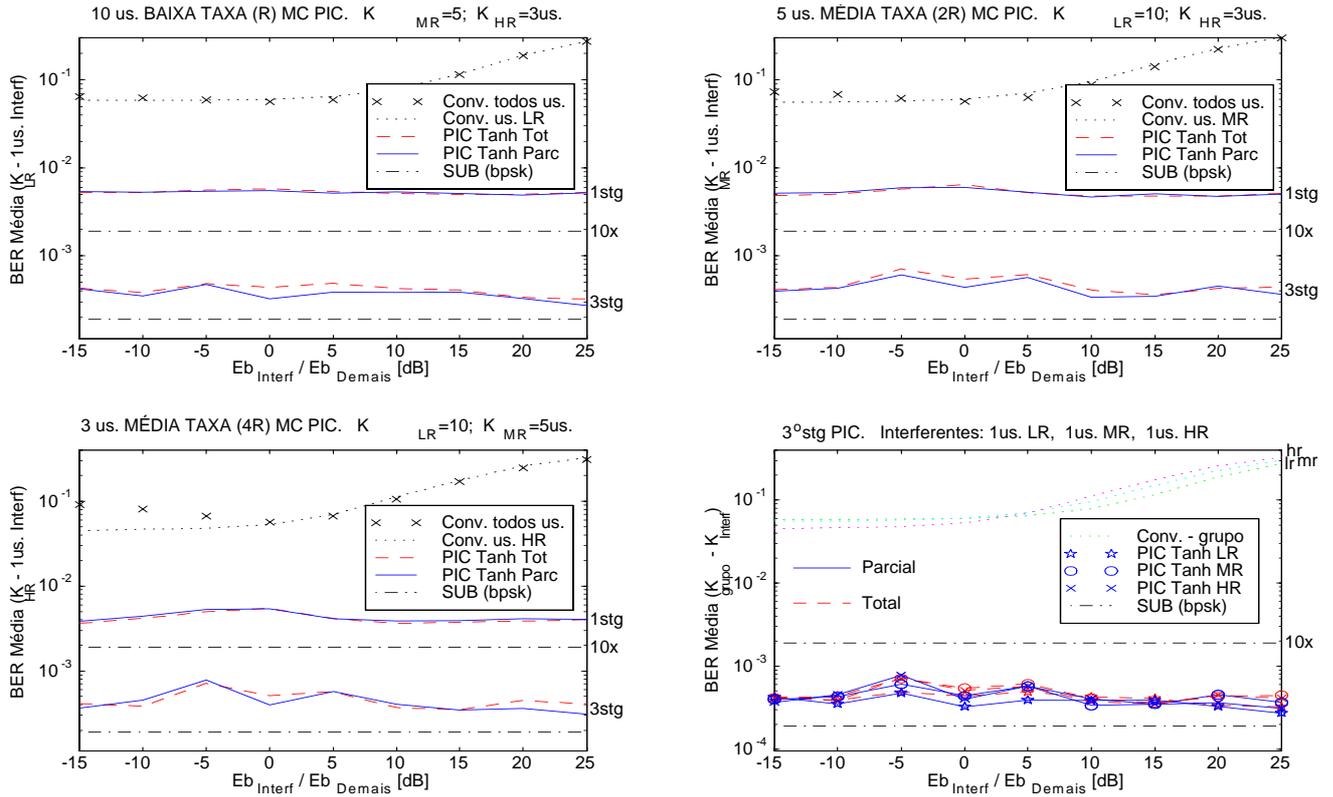


Figura 5.45. Robustez *near-far* para MC-GSIC Tanh Parcial e Total assíncrono de 3 estágios com $S = 1$ para $|A_{Interf}| < 5\text{dB}$ ou $S = 2$; $K_{Efect} = 32$ usuários e $E_b/N_0 = 8\text{ dB}$.

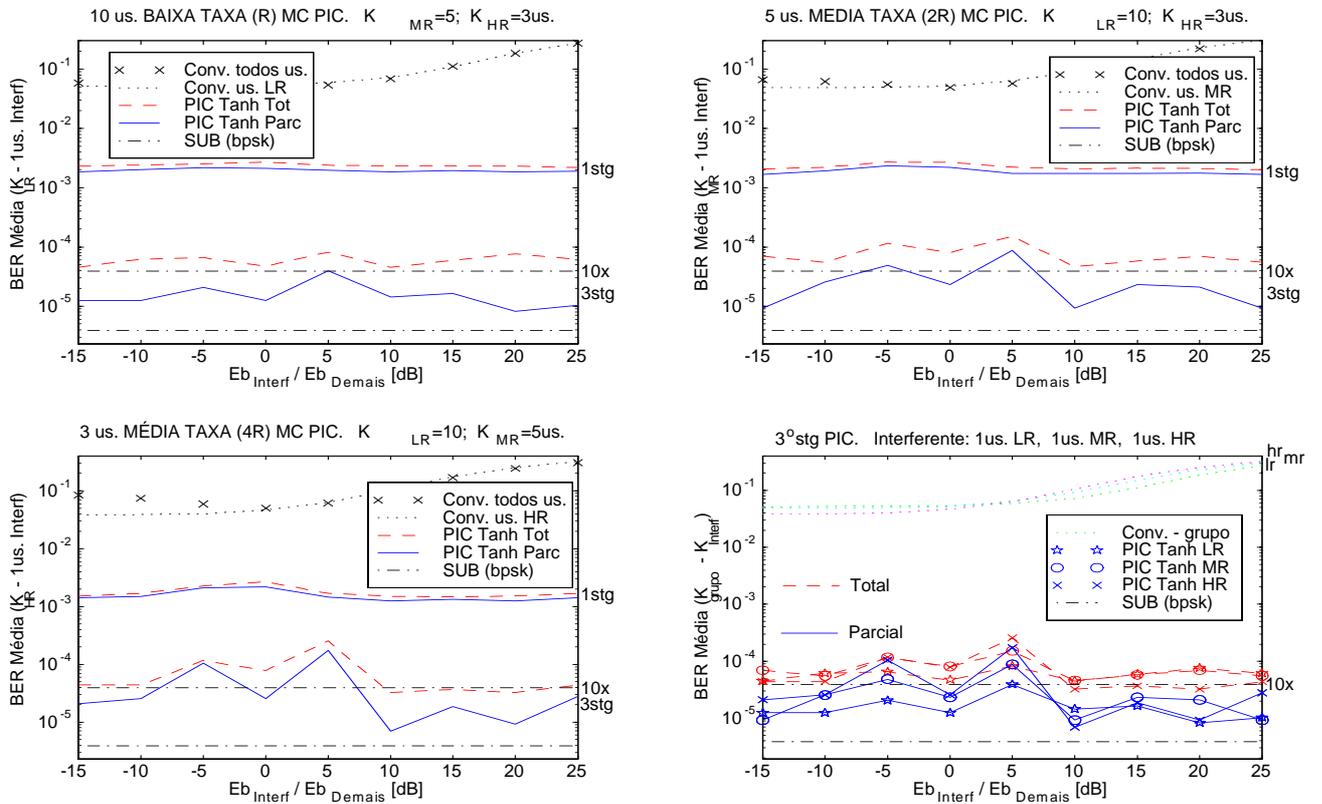


Figura 5.46. Idem à figura 5.45, exceto $E_b/N_0 = 10\text{ dB}$.

5.7 Discussão

Neste capítulo foram propostos e caracterizados através de simulações Monte Carlo cinco estruturas de detecção IC–Multitaxa e duas variações de uma delas, considerando canal AWGN (as-) síncrono e variações dos parâmetros carregamento, E_b/N_0 e potências interferentes. Afim de permitir uma comparação de desempenho mais realista entre as estruturas que utilizam esquema MC e MPG, empregou-se seqüências de Gold31 estendidas com o último chip (-1) , resultando em ganho de processamento $N = 32$. Para cada uma das estruturas foram obtidos e comparados os desempenhos médios por grupo de usuários multitaxa nas condições:

- número de usuários físicos multitaxa *fixo* e igual a $K_{Fis} = 10$ (4 us *LR*, 4us. *MR* e 2 us *HR*) e $K_{Fis} = 18$ (10 us *LR*, 5us. *MR* e 3 us *HR*), com relação sinal-ruído do sistema variável de tal forma que $E_b/N_0 = [0; 14]$ dB;
- *carregamento variável* por grupo de usuários multitaxa, mantido fixo o número de usuários dos dois outros grupos, considerando sistemas operando no ponto de $E_b/N_0 = 8, 9$ e 10 dB, com controle de potência e em alguns casos com efeito *near-far*;
- robustez *near-far* para um interferente na faixa $E_{Interf}/E_{Demais} = [-15; 25]$ dB considerando duas populações de usuários multitaxa *LR*, *MR*, *HR*: $K_{Fis} = [4; 4; 2]$ e $K_{Fis} = [10; 5; 3]$.

Em MPG, a imunidade ao efeito *near-far* torna-se menor à medida que a taxa de dados aumenta, devido à redução na capacidade de rejeição de interferência de fundo e de múltiplo acesso, em consequência da redução do ganho de processamento. Isto pôde ser observado nitidamente no esquema MPG–GSIC Tanh, por exemplo comparando-se a progressiva degradação no desempenho do grupo de usuários *LR* para o *MR* e deste para o *HR*, figuras 5.28 ou 5.29. Para o esquema MPG–PICw Tanh também se confirma a tendência de redução nos desempenhos médios por grupo à medida que a taxa de dados aumenta, mesmo utilizando coeficientes ξ distintos por grupos, cuja função é aproveitar a característica de maior amplitude transmitida dos usuários de maior taxa, afim de aliviar o problema da redução na capacidade de rejeição de interferência destes usuários; esta tendência é nítida em MPG–PICw para a condição de elevado carregamento, figura 5.15. Note-se que para os esquemas baseados em MC esta redução no desempenho por grupo em função do aumento da taxa não é perceptível. Por exemplo, tomando-se a condição $L = 100\%$, os desempenhos médios por grupo de usuários multitaxa serão similares na estrutura MC–PIC Tanh, figuras 5.4 ou 5.9, não caracterizando a tendência de redução com o aumento da taxa; já na estrutura MC–GSIC Tanh a similaridade de desempenho para os três grupos multitaxas pôde ser observado, por exemplo através das figuras 5.39 e 5.45.

Analisando o compromisso *desempenho* versus a *limitação no número de usuários multitaxa* (distintos K_{Fis} para um mesmo K_{Efe}), imposta pela adoção do esquema MC, MPG ou híbrido MC/MPG e um conjunto de seqüências de espalhamento determinísticas, observa-se:

- em um extremo tem-se o esquema MC com ótimo desempenho em ambiente com controle perfeito de potência, porém com número de usuários multitaxa R , $2R$ e $4R$ limitado. Esta limitação é ainda maior caso a relação de taxa seja elevada; em outro, o esquema MPG, com a disponibilização do maior número de usuários físicos possível, uma vez que a cada usuário é designada uma única seqüência de espalhamento; porém devido à inevitável geração do efeito *near-far* na transmissão dos sinais dos usuários de taxa maior que a básica e proporcional à razão de taxa, $\sqrt{m_g}$, ter-se-á uma correspondente degradação no desempenho à medida que a taxa transmitida crescer.
- o esquema híbrido MC/MPG analisado aqui representa uma solução de compromisso para as características acima; como visto, a estrutura proposta MC/MPG–GSIC tenta aliviar o problema do efeito *near-far* na transmissão fazendo com que os usuários de maior taxa presente em um sistema com pelo menos duas taxas sejam transmitidos utilizando-se canais paralelos, enquanto que grupos de taxas intermediárias utilizam esquema MPG, liberando parte do recurso seqüências de espalhamento. Portanto, alivia-se o problema da escassez de seqüências existente em um esquema MC puro, principalmente quando as razões de taxa forem elevada, enquanto estes esquemas mantém desempenhos médios intermediários entre o MC e o MPG. Como analisado na seção 5.5.1, o MC/MPG–GSIC Tanh proposto atingirá *desempenhos médios multitaxa superiores* em relação ao MPG–GSIC Tanh. Por outro lado, quando comparado ao esquema MC–PIC Tanh resultará em desempenhos inferiores, garantidas as mesmas condições de sistema (K_{Fis} , stg , E_b/N_0 , NFR , m_g); observe-se os melhores desempenhos médios por grupo alcançados pelo MC–PIC Tanh, por exemplo, nas figuras 5.4, 5.7 em relação às figuras 5.33, 5.34, respectivamente. Finalmente, nos esquemas híbridos MC/MPG, o número total de K_{Fis} suportados também está entre o MC (mínimo) e o MPG (máximo possível) e depende da arquitetura híbrida adotada.

A limitação para o número máximo de usuários físicos multitaxa suportados em um esquema MC com conjuntos de *seqüências determinísticas* "tradicionais" do tipo Gold ou Kasami-L pode ser contornada utilizando-se seqüências puramente randômicas (PN), às custas de uma degradação global de desempenho do sistema, devido às piores características de correlação para este tipo de seqüência de espalhamento. Alternativamente, o padrão W-CDMA apresenta a opção de utilização do conjunto de seqüências de Kasami-VL estendido de comprimento 256, cujo número de seqüências disponíveis

é muito grande (maior que um milhão de seqüências), enquanto mantém melhores propriedades de correlação que os conjuntos de seqüências PN.

As análises produzidas neste capítulo a partir de simulações Monte Carlo para canais AWGN indicaram que esquemas híbridos tanto para multitaxa quanto para a detecção MuD do tipo cancelamento de interferência multiestágio geralmente resultam em melhores desempenhos médios globais quando comparados aos esquemas "puros", nas mais variadas condições de operação do sistema. Por exemplo, como visto anteriormente, a estrutura híbrida MC/MPG-GSIC Tanh resultará em melhores desempenhos que as três versões da estrutura MPG-GSIC Tanh sem que haja a elevação no tempo de processamento. Ainda esta mesma estrutura duplamente híbrida terá desempenhos compatíveis com que os da estrutura MPG-PICw.

Diferentemente das demais estruturas propostas e analisadas, a híbrida **MC-GSIC Tanh** de 3 estágios em canal AWGN analisada na seção 5.6 é capaz de produzir robustez *near-far* ótima para todos os grupos de usuários multitaxa, isto é, mesmo sob forte efeito *near-far* de um interferente (região $NFR \gtrsim 15\text{dB}$) manteve o desempenho médio em níveis abaixo de $10P_{e_{SuB}}$ para os três grupos de usuários multitaxa e independentemente do carregamento de sistema. Das sete estruturas analisadas, a híbrida MC-GSIC Tanh em canal AWGN resultou nas melhores figuras de desempenho médio por grupo e globais, justamente por combinar dinamicamente, através da reconfiguração dos parâmetros S e P , em uma única estrutura híbrida, as ótimas características dos canceladores de interferência multiestágio paralelo e sucessivo. O resultado desta excelente característica de detecção multiusuário combinada à disponibilidade de um enorme número de seqüências de espalhamento através dos conjuntos de Kasami-VL estendidos com razoáveis propriedades de correlação, fazem da estrutura híbrida MC-GSIC Tanh uma forte candidata a integrar soluções de detecção multiusuário no canal reverso (ERB) em sistemas multitaxa de terceira geração. Desta forma, pode-se adaptar a estrutura híbrida MC-GSIC Tanh ao duplo espalhamento do padrão W-CDMA, considerando-se códigos de desembaralhamento por grupo e de canalização, figura 5.47.

Neste trabalho, apesar dos coeficientes ξ para o cancelamento parcial terem sido otimizados empregando-se um método de busca iterativa não exaustiva, elegendo-se entre os conjuntos de coeficientes testados aquele que produzisse melhores desempenhos, extensos resultados de simulação mostraram a validade de se adotar cancelamentos parciais para o decisor tanh. Adicionalmente, conclusões obtidas no capítulo 3, baseadas em resultados de simulação e analiticamente, indicaram que canceladores de interferência subtrativos são capazes de produzir melhores desempenhos utilizando decisor *soft* do tipo tanh, embora em canal Rayleigh Plano esta vantagem em relação ao decisor *hard* seja mais modesta que em canal AWGN.

A caracterização das estruturas detetoras em canais AWGN tem sua validade como uma primeira abordagem afim de identificar estruturas promissoras. Evidentemente, deve-se em seguida caracterizar as duas ou três topologias com os melhores desempenhos em AWGN, adaptando-as para a detecção multiusuário/multitaxa em canal com desvanecimento multipercurso.

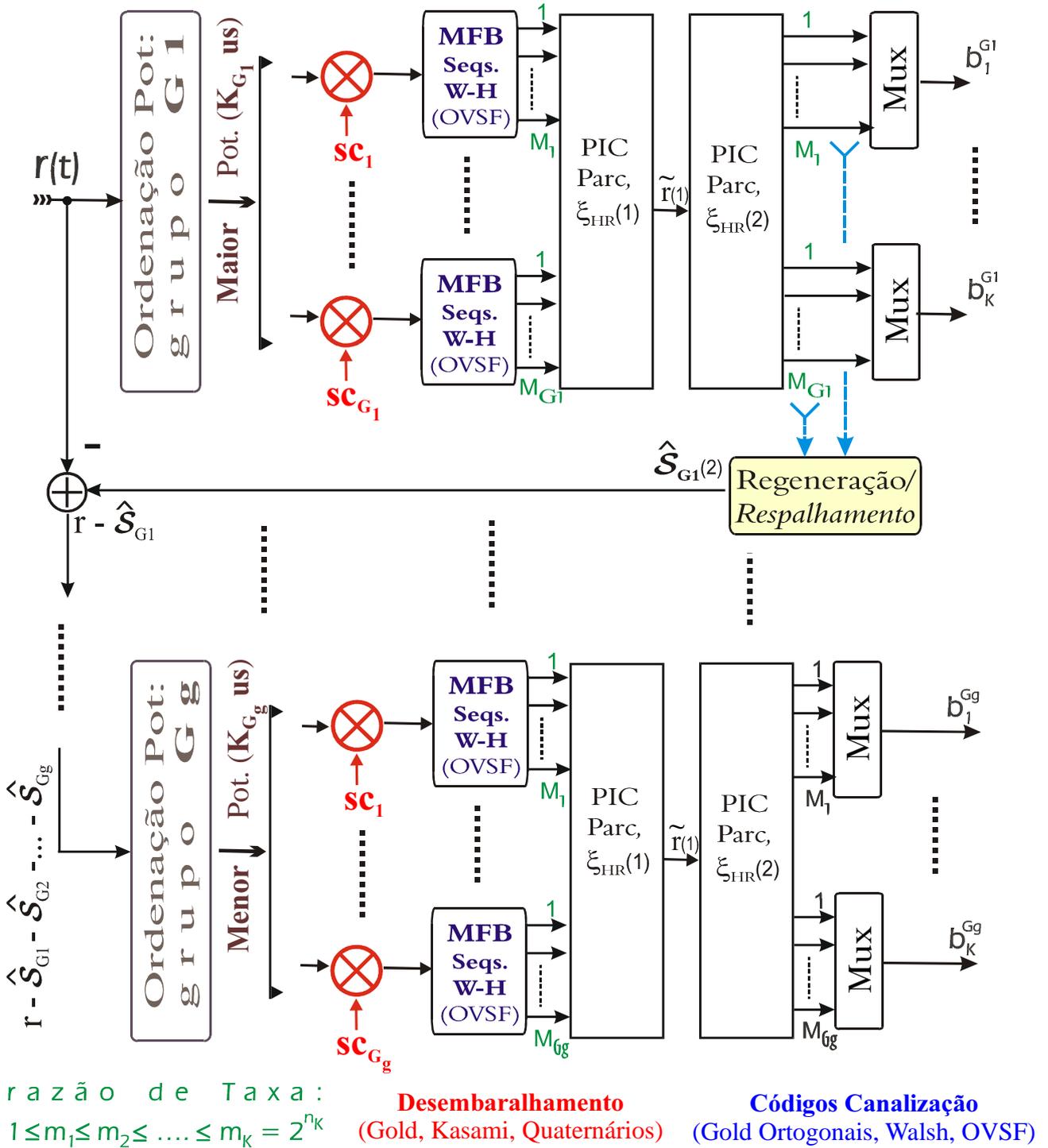


Figura 5.47. Receptor híbrido MC-GSIC com duplo desespalhamento para W-CDMA.