

Esquemas de Multiplexação Cooperativos com Cluster de Relays para Dois Usuários

Dimas Irion Alves, Renato Machado e Daniel Benevides da Costa

Resumo—Este trabalho propõe dois esquemas híbridos de transmissão com multiplexação para dois usuários assistidos por relays, onde estes últimos estão geograficamente espalhados em três regiões e distribuídos em clusters, denominados R_a , R_b , e R_c . Mais especificamente, R_a e R_b encaminham as informações provenientes das fontes (usuários) 1 e 2, respectivamente, e R_c é o cluster na região de intersecção que recebe conjuntamente os sinais de ambas as fontes. Dois diferentes cenários são analisados. No primeiro esquema, R_c tem um certo número de relays, cada um constituído por apenas uma antena, e no segundo esquema R_c é formado por uma estação relay com múltiplas antenas. Os nós relays nos clusters R_a e R_b empregam o protocolo Amplifica-e-Encaminha, enquanto que R_c utiliza o protocolo Decodifica-remodula-e-Encaminha. Baseada nessas duas técnicas de cooperação, uma estratégia de transmissão híbrida com multiplexação para dois usuários é proposta, a partir da qual conclusões interessantes são obtidas e discutidas.

Palavras-Chave—Comunicações cooperativas, esquemas de multiplexação híbridos, cluster de relays.

Abstract—This paper proposes two hybrid multiplexing transmission schemes composed by two source nodes, one destination node, and several relays. These latter are geographically spread in three different regions and are distributed in clusters, namely R_a , R_b , and R_c . More specifically, R_a and R_b contain a group of relays that may forward to the destination the information sent by source 1 and source 2, respectively, and R_c is the intersection cluster region that receives jointly the signals from both sources. Two different scenarios are analyzed. In the first scheme, R_c has a certain number of single-antenna relays, and in the second scheme R_c is formed by a single multiple-antenna relay station. The relay nodes at R_a and R_b clusters employ the amplify-and-forward protocol, whereas R_c uses the decode-remodulate-and-forward protocol. Based on these two schemes, a hybrid multiplexing transmission strategy is proposed from which insightful discussions are provided.

Keywords—Cooperative communications, hybrid multiplexing schemes, cluster of relays.

I. INTRODUÇÃO

O interesse em comunicações cooperativas tem crescido nos últimos anos principalmente devido a diversidade espacial que é alcançada sem a necessidade do uso de múltiplas antenas instaladas nos terminais [1], [2]. Mais especificamente, explorando a natureza *broadcast* do canal sem fio, alguns nós (relays) podem ser distribuídos entre a fonte e o destino de modo a emular um *array* de antenas virtuais, atenuando o efeito de desvanecimento causado pelos multipercursos.

Dimas Irion Alves e Renato Machado, Grupo de Processamento de Sinais e Comunicações, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, E-mails: {dimasirion977@gmail.com, renatomachado@ieee.org}. Daniel Benevides da Costa, Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem Fio, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, E-mail: danielbcosta@ieee.org. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERGS e pelo CNPq.

Um aspecto importante em sistemas cooperativos é o processamento de sinais efetuado pelos nós relays [3], em que diversos protocolos podem ser implementados. Devido a sua simplicidade de implementação e baixa complexidade, o protocolo Amplifica-e-Encaminha (AF, *amplify-and-forward*) é um dos mais utilizados na literatura. Neste protocolo, o sinal é recebido, amplificado (incluindo ruído) e retransmitido para o nó destino [3].

Padrões emergentes de comunicação *wireless*, como o LTE-Advanced, estão incorporando técnicas que utilizam relays [4], [5]. Nestes sistemas, estações relays são utilizadas como nós intermediários para enviar a informação entre os usuários móveis e as estações rádio base, estendendo a área de cobertura das células e melhorando o *throughput* do sistema [5], [6]. No entanto, apesar de todos os benefícios adquiridos com o uso da diversidade cooperativa, o uso de múltiplos relays pode diminuir a eficiência espectral do sistema, tornando necessário o desenvolvimento de novos esquemas de transmissão. Uma possível solução para esta deficiência é a utilização de esquemas de seleção de relays, de modo a preservar o ganho de diversidade, bem como reduzir os problemas com sincronização [7]. Além disso, a eficiência espectral também pode ser aumentada através da multiplexação de informação de múltiplas fontes, conforme sugerido em [8], [9]. No entanto, essa é uma tarefa bastante difícil de ser realizada, uma vez que os sistemas de comunicação sem fio modernos devem garantir uma comunicação com baixa taxa de erro.

Diversos trabalhos têm investigado novas estratégias de transmissão e recepção para sistemas com múltiplas fontes e canais de realimentação, sendo alguns destes descritos resumidamente a seguir. Em [10], um esquema de comunicação cooperativa com múltiplos usuários foi proposto, no qual os autores propuseram um algoritmo adaptativo de alocação de potência que explora a informação do estado do canal (CSI), enviada por um canal de realimentação, para melhorar o desempenho do sistema. Em [11], um esquema conhecido como Decodifica-e-Encaminha seletivo (SDF, *selective decode-and-forward*) foi apresentado. Neste esquema, o nó fonte transmite sua informação no primeiro slot de tempo. Nos " $N + 1$ " slots de tempo seguintes, desde que um valor de *threshold* seja respeitado, os N -ésimos relays decodificam e retransmitem a informação para o nó destino¹. Em [12], o protocolo Decodifica-remodula-e-Encaminha (DreMF, *decode-remodulate-and-forward*), que é similar ao SDF, foi proposto. No entanto, antes de os relays retransmitirem sua informação, estes remodulam o símbolo detectado, mapeando-o em uma nova

¹ N representa o número de relays.

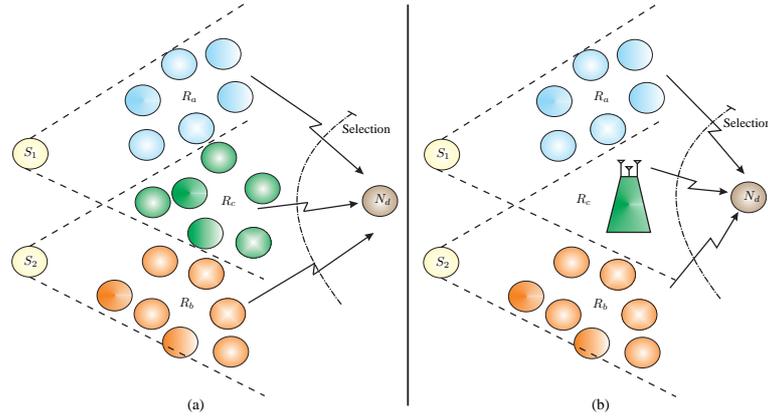


Fig. 1. Modelo do Sistema: (a) Região de intersecção com cluster de relays; (b) Região de intersecção com uma estação relay com múltiplas antenas.

constelação. De maneira a melhorar o desempenho do sistema, recentemente, protocolos híbridos foram propostos onde diferentes protocolos são combinados com o propósito de se minimizar as suas características negativas e melhor aproveitar suas características positivas, possibilitando maiores taxas de transmissão e maior robustez do sistema [13], [14].

Neste artigo, dois novos esquemas híbridos de transmissão com multiplexação para dois usuários e clusters de relays são propostos. Os esquemas são compostos por dois nós fontes, um nó destino e vários relays². Os relays são distribuídos em três regiões, i.e., dois clusters dedicados e um terceiro cluster que recebe conjuntamente os sinais providos de ambos os nós fontes. Considerar-se-á dois diferentes sistemas: i) R_a e R_b com nós relays e R_c com uma estação relay com múltiplas antenas; ii) R_a , R_b e R_c constituídos por nós relays. Cabe ressaltar que todos nós relays possuem apenas uma única antena. Os desempenhos dos sistemas propostos serão avaliados e algumas questões relacionadas às taxa de transmissão e taxa de erro de bit serão identificadas e então discutidas.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira. A Seção II introduz os modelos de sistema utilizados neste trabalho. A Seção III apresenta o esquema híbrido de multiplexação proposto. A Seção IV apresenta os resultados obtidos através de simulações, a partir dos quais são realizadas discussões sobre a qualidade do sistema e, por fim, na Seção V, apresentam-se as considerações finais deste trabalho. No decorrer deste artigo, ‘*’ e ‘|·|’ representam os operadores complexo conjugado e valor absoluto, respectivamente.

II. MODELOS DOS SISTEMAS

A Fig. 1 ilustra os modelos dos sistemas considerados no trabalho. Os sistemas são compostos por dois nós fontes, S_1 e S_2 , com uma única antena cada, um nó destino N_d , com uma única antena e diversos relays. Os relays estão geograficamente distribuídos em três regiões, formando três clusters, denominados R_a , R_b e R_c . R_a é composto por nós relays com uma única antena cada, que apenas recebem o sinal

²Assume-se que há um canal de realimentação entre o nó destino e os relays.

da fonte S_1 ; R_b também é composto por nós relays com uma única antena cada, porém seus relays apenas recebem o sinal da fonte S_2 ; R_c é a região de intersecção que recebe os sinais das duas fontes S_1 e S_2 , conjuntamente. Os relays das regiões R_a e R_b utilizam o protocolo AF enquanto que o sistema da região R_c utiliza o protocolo DreMF.

Dois diferentes cenários foram analisados. No primeiro, R_c possui um determinado número de relays com uma única antena cada e, no segundo esquema, R_c é formado por uma única estação MIMO, conforme ilustrado na Fig. 1.

Em todos os cenários, assume-se que os canais estão submetidos ao desvanecimento plano do tipo Rayleigh quase-estático e que estes canais são constantes durante o período de um quadro, variando aleatoriamente a cada novo quadro de transmissão. Assume-se que a informação é mapeada em uma constelação de energia média unitária e em banda base, como por exemplo constelações do tipo PSK ou QAM, dando origem a Q símbolos $\{s_q\}$, $q = 1, \dots, Q$, os quais são transmitidos em τ períodos de símbolo. A taxa de transmissão ($R = Q/\tau$) pode variar de $2/3$ a 1 , dependendo do percentual de uso dos protocolos AF e DreMF.

Considera-se a ausência de um link direto entre os nós fontes e o nó destino. Desta maneira, as informações transmitidas pelos nós fontes são apenas recebidas pelos nós relays. Quando o protocolo AF é utilizado, os nós (relays das regiões R_a e R_b) retransmitem uma versão amplificada do sinal original recebido (incluindo o ruído e distorções) para o nó destino. De outra maneira, quando o protocolo DreMF é utilizado na região R_c , o(s) nó(s)³ remodulam a informação em uma constelação de maior ordem, de modo a mapear a informação de ambas as fontes em um único símbolo de informação, e então retransmite esse novo símbolo para o nó destino.

Para os sistemas aqui abordados consideram-se que: i) o receptor conhece os coeficientes dos canais de desvanecimento, ii) os nós relays são do tipo half-duplex, iii) a potência total por período de transmissão é P , e iv) o canal de realimentação entre destino e relays é livre de atrasos e de erros.

³Se for utilizado uma estação MIMO em R_c , a detecção é feita através de um receptor MRC.

III. ESQUEMAS DE TRANSMISSÃO COM MULTIPLEXAÇÃO PARA DOIS USUÁRIOS E CLUSTER DE RELAYS

Os esquemas híbridos de transmissão com multiplexação para dois usuários abordados neste artigo serão descritos nesta seção e suas diferenças serão ressaltadas.

Assumindo uma estratégia TDMA, o processo de comunicação de ambos os sistemas pode ser realizado em dois ou três slots de tempo, de acordo com o protocolo utilizado. No primeiro slot de tempo, cada nó fonte transmite seu símbolo para os relays. O sinal recebido pelos relays das regiões R_a , R_b , e R_c podem ser descritos como

$$y_{ai} = \sqrt{P_1} s_1 h_{1,ai} + \eta_{ai}, \quad (1)$$

$$y_{bi} = \sqrt{P_1} s_2 h_{2,bi} + \eta_{bi}, \quad (2)$$

e

$$y_{ci} = \sqrt{P_1} (s_1 h_{1,ci} + s_2 h_{2,ci}) + \eta_{ci} \quad (\text{Sistema (a)}), \quad (3)$$

ou

$$y_c = \sum_{i=1}^M \sqrt{P_1} (s_1 h_{1,ci} + s_2 h_{2,ci}) + \eta_c \quad (\text{Sistema (b)}), \quad (4)$$

em que, $h_{1,ai}$ e $h_{2,bi}$ representam os coeficientes dos canais entre as fontes 1 e 2 e o i -ésimo relay nas regiões a e b , respectivamente; $h_{1,ci}$ e $h_{2,ci}$ representam os coeficientes dos canais entre as fontes 1 e 2 e o i -ésimo relay (Sistema (a)) ou i -ésima antena da estação MIMO (Sistema (b)) na região c , respectivamente; s_1 e s_2 são os sinais transmitidos das fontes 1 e 2, respectivamente; η_{ai} , η_{bi} , η_{ci} , e η_c são variáveis aleatórias complexas independentes e identicamente distribuídas (i.i.d) com média zero e variância N_0 que representam o ruído Gaussiano branco; y_{ai} e y_{bi} são os sinais recebidos no i -ésimo relay nas regiões a e b , respectivamente; y_{ci} e y_c são os sinais recebidos no i -ésimo relay (Sistema (a)), e na estação MIMO (Sistema (b)) na região c , respectivamente; M é o número de antenas na estação MIMO (Sistema (b)) e P_1 representa a potência transmitida por cada uma das fontes.

No sistema (a), o sinal recebido em R_c é detectado pelos relays utilizando um receptor de filtro casado e no sistema (b), a estação MIMO utiliza um detector MRC. Após a detecção, os símbolos estimados são remapeados para uma nova constelação de maior ordem. Por exemplo, se s_1 e s_2 pertencem a uma constelação QPSK, após a detecção, estes símbolos serão combinados e remapeados em uma constelação 16-QAM.

Antes que ocorram as transmissões do segundo slot de tempo, o nó destino estima os coeficientes de canal dos links R_c-N_d . Os relays (Sistema (a)) ou antenas (Sistema (b)) da região c , que satisfazem o limiar de qualidade do canal (*threshold*) são considerados potenciais candidatos a encaminhar a informação para o destino. Especificamente, se o *threshold* é satisfeito por pelo menos um relay (Sistema (a)) ou por pelo menos uma antena (Sistema (b)), o melhor relay (ou antena), ou seja, a qual possuir a melhor qualidade de canal (com $|h_{c,d}|$ máximo), é selecionado para realizar o protocolo DreMF. Caso contrário, o destino seleciona o melhor nó de R_a e R_b (com $|h_{a,d}|$ e $|h_{b,d}|$ máximos). Neste caso, os dois relays selecionados realizam o protocolo AF.

Logo, o sinal recebido no nó destino é dado por⁴

$$y_{cd} = \sqrt{P} h_{c,d} s_c + \eta_{c,d}, \quad \text{se } |h_{c,d}| \geq \delta \quad (5)$$

caso contrário,

$$y_{ad} = \beta_a h_{a,d} y_a + \eta_{a,d} \quad (\text{segundo slot de tempo}) \quad (6)$$

$$y_{bd} = \beta_b h_{b,d} y_b + \eta_{b,d} \quad (\text{terceiro slot de tempo}) \quad (7)$$

em que, $h_{c,d}$ é o coeficiente do canal do melhor relay (Sistema (a)) ou da antena selecionada (Sistema (b)) para o destino; $h_{a,d}$ e $h_{b,d}$ representam os coeficientes dos canais dos relays selecionados das regiões R_a e R_b para o destino; y_a e y_b são os sinais recebidos dos nós selecionados das regiões R_a e R_b , respectivamente; $\eta_{a,d}$, $\eta_{b,d}$, e $\eta_{c,d}$ são variáveis aleatórias complexas i.i.d com média zero e variância N_0 que representam o ruído Gaussiano branco; s_c é o símbolo obtido através de remapeamento de símbolos realizados pelo relay (ou antena) selecionado(a) da região R_c ; δ é o *threshold*; e β_a e β_b são os fatores de amplificação, que podem ser expressos como

$$\beta_x = \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_1 |h_{i,x'}|^2 + N_0}}, \quad (8)$$

em que, $h_{i,x'}$ ($i = 1, 2$ e $x = a, b$) representam os canais fontes-relay das fontes 1 e 2 para os relays selecionados das regiões R_a e R_b , respectivamente, e P_2 é a potência transmitida pelos relays selecionados.

Substituindo (8) em (6) e (7), tem-se

$$y_{ad} = \frac{\sqrt{P_1 P_2}}{\sqrt{P_1 |h_{1,a'}|^2 + N_0}} h_{a,d} h_{1,a'} s_1 + \eta'_{ai}, \quad (9)$$

$$y_{bd} = \frac{\sqrt{P_1 P_2}}{\sqrt{P_1 |h_{2,b'}|^2 + N_0}} h_{b,d} h_{2,b'} s_2 + \eta'_{bi}, \quad (10)$$

em que,

$$\eta'_{xi} = \frac{\sqrt{P_2}}{\sqrt{P_1 |h_{i,x'}|^2 + N_0}} h_{a,d} \eta_{xi} + \eta_{xd}, \quad (11)$$

sendo η'_{xi} ($x = a, b$, e $i = 1, 2$) a variável Gaussiana complexa i.i.d com média zero e variância

$$N'_0 = \left(\frac{P_2 |h_{x,d}|^2}{P_1 |h_{i,x'}|^2 + N_0} + 1 \right) N_0. \quad (12)$$

A. Detecção

A partir do conhecimento dos canais $h_{a,d}$, $h_{b,d}$ e $h_{c,d}$ no nó destino, a detecção pode ser realizada aplicando-se um filtro casado. Assim, o detector pode ser escrito da seguinte forma

$$y'_{cd} = \alpha_c y_d, \quad \text{se } |h_{c,d}| \geq \delta, \quad (13)$$

caso contrário,

$$y'_{ad} = \alpha_a y_{ad} \quad (\text{segundo slot de tempo}), \quad (14)$$

$$y'_{bd} = \alpha_b y_{bd} \quad (\text{terceiro slot de tempo}), \quad (15)$$

em que, os fatores α_a , α_b e α_c são determinados de maneira a maximizar a razão sinal-ruído (SNR) instantânea na saída

⁴No trabalho é adotado o valor de *threshold* = 0,2.

do detector. Desta maneira, os fatores α_a , α_b e α_c são especificados como

$$\alpha_x = \frac{\sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_1 |h_{i,x'}|^2 + N_0}} h_{i,x'}^* h_{x,d}^*}{\left(\frac{P_2 |h_{x,d}|^2}{P_1 |h_{i,x'}|^2 + N_0} + 1 \right) N_0}, \quad (16)$$

e

$$\alpha_c = \frac{\sqrt{P_2} h_{c,d}^*}{N_0}, \quad (17)$$

em que, $x = a, b$, e $i = 1, 2$.

B. Análise de SNR

Assumindo que os símbolos transmitidos, s_1 e s_2 , possuem energia média unitária, a SNR instantânea na saída do detector pode ser definida como

$$\gamma_{DreMF} = \frac{P |h_{c,d}|^2}{N_0}, \quad \text{se } |h_{c,d}| \geq \delta, \quad (18)$$

caso contrário,

$$\gamma_{AF} = \gamma_{AF1} + \gamma_{AF2}, \quad (19)$$

em que,

$$\gamma_{AFi} = \frac{1}{N_0} \left(\frac{P_1 P_2 |h_{i,x'}|^2 |h_{x,d}|^2}{P_1 |h_{i,x'}|^2 + P_2 |h_{x,d}|^2 + N_0} \right), \quad (20)$$

sendo, $x = a, b$, e $i = 1, 2$.

Nota-se que a expressão da SNR média depende do percentual de uso de cada protocolo. Em outras palavras, depende de quantas vezes o *threshold* $|h_{c,d}| \geq 0,2$ é satisfeito. Para os esquemas propostos, a SNR média pode ser definida como

$$\bar{\gamma} \triangleq \Omega_1 \gamma_{DreMF} + \frac{\Omega_2}{2} (\gamma_{AF1} + \gamma_{AF2}), \quad (21)$$

sendo

$$\Omega_1 + \Omega_2 = 1, \quad (22)$$

em que, Ω_1 e Ω_2 são fatores de ponderação que representam o percentual de uso de cada protocolo.

IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Nesta seção, resultados de simulação são apresentados a fim de avaliarmos a qualidade dos esquemas propostos. Simulações do tipo Monte Carlo são realizadas considerando a transmissão de 10^7 símbolos por cada nó fonte para cada ponto de SNR média. Assume-se que os símbolos são mapeados em uma constelação BPSK e o *threshold* é fixado em 0,2. Para todas as simulações adotou-se $P_1 = P_2 = P/2$.

TABELA I
TAXA DE TRANSMISSÃO PARA O SISTEMA PROPOSTO (A)

Configuração do Sistema	Taxa média	Uso do Protocolo
$N_a = N_b = N_c = 1$	0,914	$\Omega_1 = 0,741; \Omega_2 = 0,259$
$N_a = N_b = N_c = 3$	0,934	$\Omega_1 = 0,818; \Omega_2 = 0,182$
$N_a = N_b = N_c = 5$	0,940	$\Omega_1 = 0,819; \Omega_2 = 0,181$

A Fig. 2 apresenta a taxa de erro de bit (BER) para o esquema híbrido (a), com $N_a = N_b = N_c = 1$. Os resultados revelam que o esquema híbrido alcança um ganho de SNR de aproximadamente 3,67 e 4,39 dB (considerando

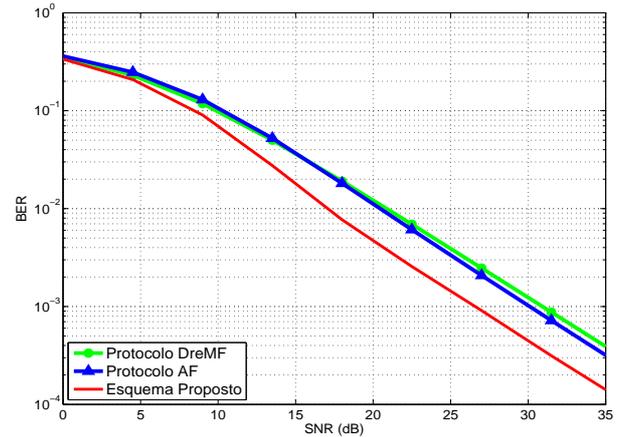


Fig. 2. Análise de BER do esquema (a) para $N_a = N_b = N_c = 1$.

TABELA II
TAXA DE TRANSMISSÃO PARA O SISTEMA PROPOSTO (B)

Configuração do Sistema	Taxa média	Uso de Protocolo
$N_a = N_b = 1; M = 1$	0,914	$\Omega_1 = 0,741; \Omega_2 = 0,259$
$N_a = N_b = 3; M = 3$	0,995	$\Omega_1 = 0,985; \Omega_2 = 0,015$
$N_a = N_b = 5; M = 5$	0,999	$\Omega_1 = 0,998; \Omega_2 = 0,020$

TABELA III
TAXA DE TRANSMISSÃO: $N_a = N_b$ E $M = 3$

Configuração do Sistema	Taxa Média	Uso de Protocolo
$N_a = N_b = 1; M = 3$	0,995	$\Omega_1 = 0,985; \Omega_2 = 0,015$
$N_a = N_b = 3; M = 3$	0,995	$\Omega_1 = 0,985; \Omega_2 = 0,015$
$N_a = N_b = 5; M = 3$	0,995	$\Omega_1 = 0,985; \Omega_2 = 0,015$
$N_a = N_b = 7; M = 3$	0,995	$\Omega_1 = 0,985; \Omega_2 = 0,015$

uma análise assintótica) sobre os esquemas AF e DreMF, respectivamente. Além disso, o esquema proposto possui uma taxa de transmissão média de 0,914 (Tabela I), o que é superior à $2/3$ (taxa de transmissão média do esquema AF) e um pouco menor que 1 (taxa de transmissão média do esquema DreMF).

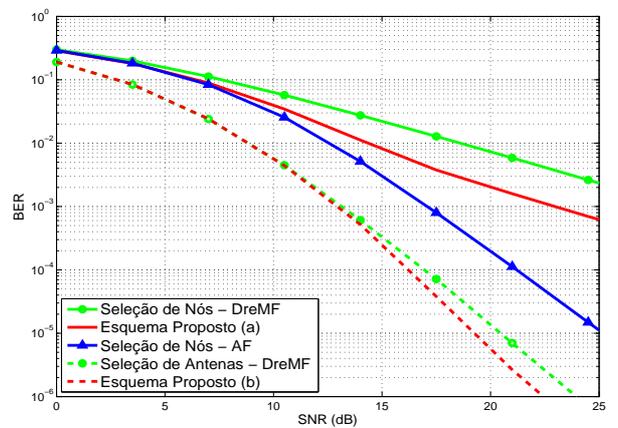


Fig. 3. Análise de BER para os esquemas propostos: $N_a = N_b = N_c = 3$ para o esquema (a); $N_a = N_b = 3$ e $M = 3$ para o esquema (b).

A Fig. 3 apresenta a BER para os dois esquemas propostos. Nota-se que quando a estação relay MIMO é considerada em

R_c (Sistema (b)), o esquema proposto apresenta um ganho em diversidade sobre os esquemas AF e DreMF.

As Tabelas I e II mostram que o Sistema (b) alcança maiores taxas de transmissão quando comparado com o Sistema (a). A taxa de transmissão está diretamente relacionada ao percentual do uso de cada protocolo, i.e., quanto maior o uso do protocolo DreMF mais próxima do valor unitário estará a taxa de transmissão.

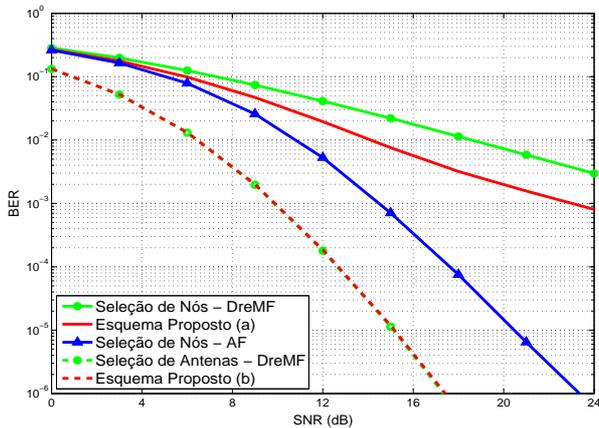


Fig. 4. Análise de BER para os esquemas propostos: $N_a = N_b = N_c = 5$ para o esquema (a); $N_a = N_b = 5$ e $M = 5$ para o esquema (b).

A Fig. 4 mostra a BER para $N_a = N_b = N_c = M = 5$. Nota-se que o Sistema (b) não apresenta ganho de SNR quando comparado com o esquema DreMF. As pequenas diferenças na performance de BER e na taxa de transmissão ocorrem devido ao valor fixo de *threshold* adotado neste trabalho, o qual ainda não foi otimizado para cada configuração do sistema.

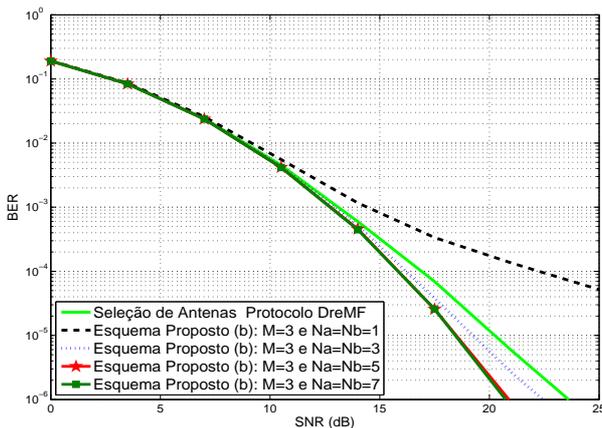


Fig. 5. Análise de BER para o esquema (b), para $N_a = N_b = 1, 3, 5, 7$, e $M = 3$.

A Fig. 5 apresenta o desempenho de BER para o esquema híbrido (b), na qual a estação relay é equipada com três antenas e o número de relays nas regiões R_a e R_b é 1, 3, 5, e 7. Os resultados são comparados com o protocolo DreMF com a estação relay com três antenas $M = 3$. Pode-se observar que o esquema proposto apenas apresenta perdas na diversidade quando o número de relays é inferior ao número

de antenas. No entanto, se $N_a = N_b = M$, o esquema possui melhor performance do que o esquema DreMF. Além disso, o desempenho do sistema pode ser melhorado aumentando-se o número de relays das regiões R_a e R_b , $N_a = N_b > M$ (é o caso quando $M = 5$). Ainda, pode-se notar uma saturação no ganho de performance quando o número de relays é $N_a = N_b = 7$. Por fim, pode-se concluir que existe uma configuração ideal para os sistemas propostos sendo necessárias mais investigações para se encontrar o *tradeoff* ideal entre ganho de desempenho e complexidade de sistema.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foram propostos dois novos esquemas híbridos de transmissão com multiplexação para dois usuários, um nó destino e três regiões de clusters de relays. Observou-se que os esquemas propostos superam os esquemas AF e DreMF caso o número de relays seja pequeno, apenas um por região. No entanto, se o número de relays é maior do que 1, o Sistema (b) possui um ganho de desempenho quando comparado ao Sistema (a). Além disso, verificou-se que uma distribuição não simétrica de relays pode prover resultados interessantes. Logo, mesmo que haja alguma restrição no número de antenas de R_c , é possível explorar alguns outros benefícios através de relays nas regiões R_a e R_b , desde que N_a e N_b sejam maiores ou iguais a M .

REFERÊNCIAS

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927–1938, Nov. 2003.
- [2] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415–2425, Oct. 2003.
- [3] K. J. Ray Liu, A. K. Sadek, Weifeng, Su, and A. Kwasinski, *Cooperative Communications and Networking*, Cambridge University Press, 2009.
- [4] S. W. Peters, A. Panah, K. Truong, and R. Heath Jr., "Relay architectures for 3GPP LTE-advanced," *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2009, May 2009.
- [5] <http://www.ieee802.org/16/relay/>
- [6] S. Bi and Y. J. Zhang, "Outage-optimal TDMA based scheduling in relay-assisted MIMO cellular networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 11, no. 4, pp. 1488–1499, April 2012.
- [7] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 9, pp. 3450–3460, Sept. 2007.
- [8] Liang-Liang Xie and P. R. Kumar, "Multisource, multidestination, multirelay wireless networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no. 10, pp. 3586–3595, Oct. 2007.
- [9] L. Sun, T. Zhang, L. Lu, and H. Niu, "On the combination of cooperative diversity and multiuser diversity in multi-source multi-relay wireless networks," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 17, no. 6, pp. 535–538, Jun. 2010.
- [10] K. T. Phan, T. Le-Ngoc, S. A. Vorobyov, and C. Tellambura, "Power allocation in wireless multi-user relay networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 5, pp. 2535–2545, May 2009.
- [11] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE Journal Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659–672, Mar. 2006.
- [12] A. H. Bastami and A. Olfat, "Selection relaying schemes for cooperative wireless Networks with adaptive modulation," *IEEE Tran. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 4, pp. 1539–1558, May 2011.
- [13] H. Ding, J. Ge, D. B. da Costa, and Z. Jiang, "A new efficient low-complexity scheme for multi-source multi-relay cooperative networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 2, pp. 716–722, Feb. 2011.
- [14] T. Liu, L. Song, Y. Li, Q. Huo, and B. Jiao, "Performance analysis of hybrid relay selection in cooperative wireless systems," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 60, no. 3, pp. 779–788, Mar. 2012.