

# Controle da Qualidade do Enlace no Sistema EDGE<sup>(1)</sup>

Walter C. F. Júnior, F. Rodrigo P. Cavalcanti

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici  
C.P. 6001, CEP- 60455 – 760, Fortaleza – CE.  
e-mail: [walter@dee.ufc.br](mailto:walter@dee.ufc.br), [rod@dee.ufc.br](mailto:rod@dee.ufc.br)

## RESUMO

Altas taxas de transmissão são necessárias quando se tem o objetivo de fornecer serviços multimídia em terminais móveis sem fio. O EGPRS (*Enhanced General Packet Radio Service*) é o serviço de pacotes do EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) que representa um caminho de evolução à terceira geração (3G) dos sistemas GSM (*Global System for Mobile Communication*) e TDMA de segunda geração. O sistema EDGE utiliza-se de um esquema de modulação multinível para aumentar a taxa de dados fornecida aos usuários, assim como de um esquema de controle da qualidade do enlace. Este controle da qualidade do enlace, uma característica fundamental do conceito EDGE, é essencial para fornecer a cada usuário a vazão máxima (*throughput*) que a condição do canal permite em cada momento [1]. Neste artigo o controle da qualidade do enlace proposto para o EGPRS é abordado baseado nas especificações técnicas fornecidas pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

## 1. INTRODUÇÃO

O impressionante crescimento da telefonia celular assim como o número de usuários da Internet promete um excitante potencial para um mercado que combina ambas inovações: serviços de dados sem-fio em terminais móveis. Dentro de poucos anos, existirá uma extensiva demanda para serviços de dados sem-fio. Em particular, acesso à Internet sem-fio com alto desempenho serão requisitados pelos usuários [2].

O ITU (*International Mobile Union*) tem desenvolvido recomendações para o IMT-2000 (*International Mobile Telecommunication-2000*) desde o final dos anos 80, visando à especificação de uma terceira geração de comunicações móveis. A promessa para a terceira geração inclui acesso à Internet e à outros serviços de dados em conexões orientadas a pacotes com diferentes taxas de transmissão [3] [4]:

- 144 Kbps em alta mobilidade;
- 384 Kbps em mobilidade restrita;
- 2 Mbps em baixa mobilidade.

Para atingir a taxa alvo dos serviços de terceira geração de 384 Kbps no ambiente macro-celular, o ETSI vem desenvolvendo o sistema EDGE. O EDGE pode ser visto como uma extensão do serviço de pacotes do GSM, o GPRS (*General Packet Radio Service*), agregando-se modulação e codificação adaptativas e redundância incremental. O serviço de pacotes do EDGE é chamado de EGPRS. A idéia básica consiste em usar a estrutura do GPRS com um aumento na taxa de bits, através de novos

esquemas de modulação e codificação e controle da qualidade do enlace.

Para aumentar a vazão líquida na interface aérea do EDGE, o novo esquema de modulação introduzido é o 8-PSK (*Eight Phase Shift Keying*), enquanto outros parâmetros da interface aérea são mantidos inalterados, como por exemplo: a largura de banda do canal de 200 KHz, taxa de símbolo de 271 Kbaud, *frame* TDMA de 4.615 ms de duração com 8 *time slots* [5].

Como a modulação 8-PSK é mais susceptível a ruído e interferência do que a modulação GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), existe a necessidade de adaptar o esquema de modulação de acordo com a qualidade do enlace. Este controle da qualidade do enlace, como especificado para o EDGE é o foco principal deste artigo.

A organização do restante do artigo é apresentada a seguir. Na seção 2 uma descrição conceitual do sistema EDGE é feita. Na seção 3 os métodos de tratamento de erros e codificação do canal são apresentados para o EGPRS. A seção 4 descreve o algoritmo de adaptação do enlace do EDGE. Na seção 5 é mostrado o desempenho dos vários esquemas de modulação e codificação MCS, definidos para o EGPRS com a adaptação do enlace. A seção 6 faz uma comparação de desempenho entre os dois métodos de controle da qualidade do enlace presentes no EGPRS: a adaptação do enlace (LA) e a redundância incremental (IR). Finalmente a seção 7 resume as vantagens do sistema EDGE e as perspectivas de trabalhos futuros.

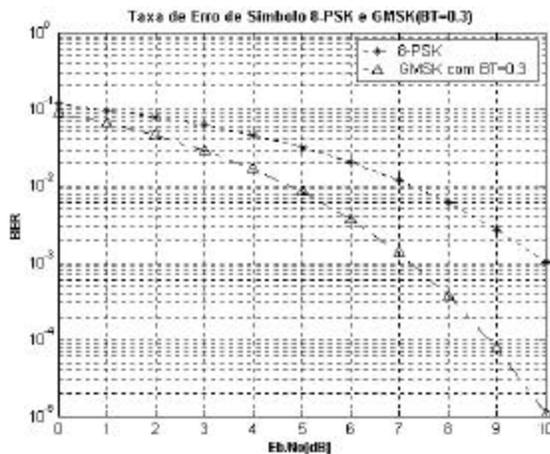
## 2. EDGE - CARACTERÍSTICAS GERAIS

O atual serviço de pacotes de dados do GSM (GPRS) suporta taxas de 9.05 a 21.4 Kbps por *time slot* [6]. Já o serviço de pacotes de dados do EDGE (EGPRS), que representa um caminho de evolução à terceira geração dos sistemas TDMA de segunda geração GSM e IS/136, permitirá taxas de dados de 8.8 a 59.2 Kbps por *time slot*. Podendo superar os 470 Kbps com a operação *multislot*, com até 8 *time slots* por usuário. A taxa escolhida depende da qualidade do enlace de transmissão através de um mecanismo de controle adequado.

Com taxas desta ordem o EGPRS satisfaz parte dos requisitos do IMT-2000. O EGPRS utiliza nove esquemas de modulação e codificação MCS's e dois tipos de modulação: a GMSK comum ao GSM e o novo esquema 8-PSK. O novo esquema de modulação introduzido pelo EDGE tem a capacidade de aumentar a taxa de bits e a eficiência espectral por um fator de três, quando comparado ao sistema GSM, já que com este novo esquema cada pulso carrega três bits de informação contra a taxa de um bit por pulso do esquema GMSK.

Para atingir as vantagens introduzidas pelo novo esquema, um

<sup>1</sup>Este trabalho teve o suporte financeiro da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).



**Figura 1.** Comparação da Taxa de Erro de Bit (BER) para as modulações GMSK e 8-PSK.

controle da qualidade do enlace é necessário, já que a modulação 8-PSK apresenta um desempenho inferior na taxa de erro de bit (BER) quando comparada com o esquema GMSK para uma mesma relação  $E_b/N_0$ . Isto é ilustrado através da Figura 1, onde é mostrado o desempenho BER vs  $E_b/N_0$  para as modulações 8-PSK e GMSK (BT = 0.3, onde B é a largura de banda (3dB) do filtro gaussiano de premodulação e T é o tempo de duração dos símbolos). A BER teórica para o esquema GMSK como uma função de BT é obtida de [7]. Maiores detalhes sobre o filtro gaussiano de premodulação e dos esquemas de modulação utilizados no EGPRS podem ser encontrados em [8, 9].

Portanto a seleção de um ou outro esquema de modulação depende da condição do canal. Se a condição do canal for satisfatória, a modulação 8-PSK é utilizada tendo-se um ganho de desempenho na taxa de dados e na eficiência espectral. Quando a condição deteriorar passaria a se usar o esquema de modulação GMSK, que é mais robusto com relação à taxa de erro de bits.

No EGPRS, são definidos nove esquemas de modulação e codificação (MCS:s), MCS-1, ..., MCS-9. Quatro utilizando a modulação GMSK (MCS-1 até a MCS-4) e cinco a modulação 8-PSK (MCS-5 até a MCS-9). Quatro tamanhos de blocos RLC (*Radio Link Control*) são definidos para os nove esquemas de modulação e codificação, visando facilitar as retransmissões de blocos errados [10].

Como estratégias de controle da qualidade do enlace, dois métodos são apresentados: a adaptação do enlace (LA) e a redundância incremental (IR). Uma comparação do funcionamento individual de cada um deste dois métodos pode ser encontrada em [1, 11, 12]. Por outro lado, o método de controle proposto para o EGPRS é o 2BB LQC (*Two Burst Based Link Quality Control*) que possibilita a adaptação do enlace pura, mas também a operação conjunta com a redundância incremental, com taxas de codificação inicial distintas para cada MCS. Uma adaptação dinâmica entre os dois métodos é possível, resultando em diferentes compromissos entre taxas de transmissão e proteção.

### 3. TRATAMENTO DE ERROS NO EDGE

#### 3.1 Estratégia de Controle de Erros

A estratégia de controle de erros utilizada no EGPRS é a técnica denominada de ARQ híbrido. Consiste em assimilar as vantagens de duas técnicas individuais: *Forward-Error Control* (FEC) e o *Automatic-Repeat-Request* (ARQ), já que cada uma destas técnicas apresenta desempenhos bem distintos para diversas condições do canal. Por exemplo, para situações onde a qualidade do canal esteja momentaneamente ruim a técnica FEC tem um desempenho melhor do que o ARQ, já que no sistema ARQ o excesso de retransmissões levará a uma queda no desempenho.

Dependendo do método de controle da qualidade do enlace utilizado podemos ter duas variações do esquema ARQ: ARQ híbrido tipo I e tipo II.

A adaptação do enlace pura [13 - 17], utiliza o esquema ARQ híbrido tipo I. Neste esquema um código é usado simultaneamente para detecção e correção de erros. Quando uma palavra código recebida é detectada com erro, o receptor primeiro tenta corrigir os erros. Se o número de erros estiver dentro das capacidades de correção do código, os erros são corrigidos. Se, por outro lado, um padrão de erro incorrigível é detectado, o receptor rejeita o pacote com erros e requisita sua retransmissão via um canal de retorno, enviando uma mensagem de não reconhecimento (NACK).

A desvantagem deste esquema é que a taxa de codificação é fixa, todos os bits de paridade para detecção e correção são enviados, mesmo se eles não são necessários, reduzindo a eficiência de utilização do canal.

O esquema ARQ híbrido tipo II, fornece uma solução para esta desvantagem. Neste caso, bits de paridade para correção dos erros são enviados somente quando necessário, resultando na técnica de redundância incremental (IR). Neste esquema um código de bloco ou código convolucional pode ser usado. Para o aprofundamento da questão relacionada à conceituação e desempenho do esquema ARQ híbrido tipo II usando códigos convolucionais puncionados ver [18 - 25].

O ARQ híbrido tipo II primeiro codifica um bloco de dados através de um FEC com uma baixa taxa de código. Somente uma fração deste bloco codificado é transmitida inicialmente, produzindo uma taxa de codificação inicial,  $R_1=1$ . Para os erros detectados pelo HCS (*Header Check Sequence*) ou BCS (*Block Check Sequence*) sub-blocos adicionais contendo redundância são enviados e combinados ao sub-bloco anteriormente enviado, atingindo-se uma taxa de codificação menor  $R_{1+2}$ . Este procedimento é repetido até a codificação com sucesso do bloco enviado, gerando uma espécie de escada incremental. A cada passo há um incremento na quantidade de redundância, ou, equivalentemente um decremento na taxa de codificação  $R_{1+2+...+i}$ .

#### 3.2 Esquema ARQ Híbrido Tipo II com Códigos Combinados no EGPRS

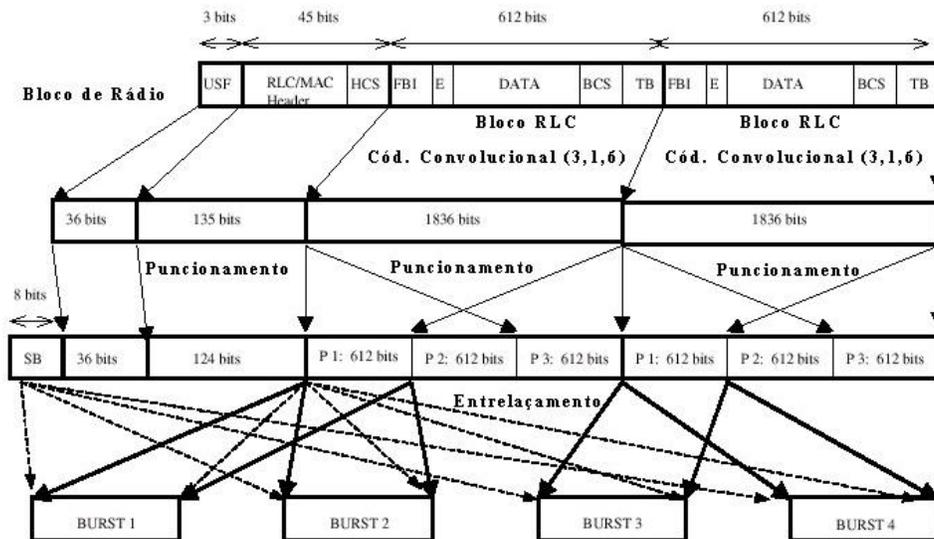


Figura 2. Codificação, Puncionamento e Interleaving MCS-9.

O primeiro a sugerir a aplicação de códigos combinados com esquemas ARQ híbrido foi Chase em [26]. Com códigos combinados, pacotes com erros que deverão ser retransmitidos não são descartados como no sistema ARQ tradicional, mas são combinados com suas cópias repetidas de uma maneira ótima para produzir um maior *throughput*. Isto sugere a necessidade de um *buffer* de recepção para armazenamento dos blocos que foram detectados com erros, até que bastante redundância adicional tenha chegado para uma decodificação correta.

Idealmente, o que se deseja é ter uma estratégia ARQ na qual a taxa de codificação se adapte as condições do canal. Ou seja, inicia-se com uma taxa de codificação alta, geralmente  $R_1=1$ , quando a qualidade do canal é momentaneamente deteriorada, bits de redundância incremental são fornecidos pelo transmissor, levando a uma taxa de codificação menor.

### 3.3 Codificação de Canal, Puncionamento e Entrelaçamento

No EGPRS, um Código de Redundância Cíclica (CRC) chamado  $C_0$  é usado para detecção de erros. Este código fornece os bits de paridade HCS e BCS para detecção dos erros na parte do cabeçalho e bloco de dados RLC, respectivamente. Um código convolutional (3,1,6) é utilizado para correção de erros, denominado  $C_1$ . Os polinômios de geração dos códigos, os padrões de punção, o esquema de entrelaçamento e o mapeamento em *bursts* para cada MCS podem ser obtidos em [27].

O bloco de dados RLC é primeiro codificado usando  $C_1$ , na MCS que está em execução. A transmissão inicial de um bloco consiste dos bits obtidos pela aplicação do esquema de punção. Os blocos codificados são punçados ("retirados") na saída do codificador convolutional a fim de se obter um

codificador/decodificador que possa ser modificado sem alterar sua estrutura básica. Isto pode ser conseguido não transmitindo certos bits de redundância. Por exemplo, suponha inicialmente um código convolutional com a taxa  $1/n_0$ , que é denominado código mãe. Se um novo código com taxa  $k/n$  for desejado então  $(n_0k - n)$  bits na saída do codificador são deletados através de algum padrão de punção, obtendo-se assim um novo código com taxa  $k/n$  com a estrutura de um código de  $1/n_0$ .

Após o punção os bits seguem para o processo de entrelaçamento (*interleaving*) seguindo-se do mapeamento em *bursts*, para a transmissão através do canal.

A Figura 2 mostra os processos de codificação, punção, entrelaçamento e mapeamento em *bursts* para a MCS-9. Pode ser visto que cada bloco de radio da MCS-9 possui dois blocos de dados RLC. O bloco de dados RLC punçado (P<sub>1</sub>, por exemplo), o cabeçalho (RLC/MAC Header) punçado, os bits codificados USF (*UpLink Status Flag*) e os bits SB (*Stealing Bits*) são entrelaçados sobre dois *bursts*. Deve se notar que o cabeçalho no EGPRS é codificado independentemente e tem seus próprios bits de paridade HCS.

## 4. CONTROLE DA QUALIDADE DO ENLACE

O EGPRS permite uma transição suave entre adaptação do enlace pura e redundância incremental, dependendo somente do *buffer* no receptor, para o armazenamento dos sub-blocos detectados com erros. Cada MCS tem uma taxa de codificação inicial ( $R_1$ ) diferente, possibilitando assim diferentes compromissos entre complexidade, desempenho (*throughput*) e proteção de acordo com a condição momentânea do canal.

MCS	Modulação	$R_{\max}$ por time slot [Kbps]	$R_1$	$R_{1+2}$	$R_{1+2+3}$	No. de Blocos RLC	No. de Padrões de Puncionamento	Família
9	8-PSK	59.2	1.0	0.5	0.33	2	3	A
8		54.4	0.92	0.46	0.31	2	3	A
7		44.8	0.76	0.38	0.25	2	3	B
6		29.6	0.49	0.24	-	1	2	A
5		22.4	0.37	0.19	-	1	3	B
4	GMSK	17.6	1.0	0.5	0.33	1	3	C
3		14.8	0.80	0.42	0.28	1	2	A
2		11.2	0.66	0.33	-	1	2	B
1		8.8	0.53	0.26	-	1	2	C

**Tabela 1.** Parâmetros para MCS-1 até MCS-9

Nove MCS são utilizadas, cinco usando a modulação 8-PSK e quatro usando a modulação GMSK, podendo-se usar em cada uma a adaptação do enlace e a redundância incremental isoladamente ou em conjunto. As características de cada MCS são mostradas na Tabela 1. Para cada MCS, um bloco codificado convolucionalmente com taxa 1/3, é dividido em  $n$  sub-blocos ( $n=2$  ou  $n=3$ ) dependendo da MCS utilizada (Tabela 1). Esta divisão é conseguida através do puncionamento, onde  $n$  corresponde ao número de padrões de puncionamento:  $P_1$ ,  $P_2$  ou  $P_3$ . A razão para se ter mais do que um padrão de puncionamento é para permitir a redundância incremental.

Inicialmente o sub-bloco  $S_1$  correspondendo ao padrão de puncionamento  $P_1$  é transmitido. Nas retransmissões, um sub-bloco adicional  $S_i$  (correspondendo ao padrão de puncionamento  $P_i$ ) é transmitido, onde  $i=1,2,\dots,n,1,2,\dots$

Como cada sub-bloco contém uma palavra código, quando requisitar retransmissões o receptor pode ou não descartar sub-blocos antigos. Isto está relacionado ao esquema ARQ híbrido utilizado.

A alteração de maneira cíclica dos sub-blocos  $S_i$  nas retransmissões, permite ao receptor escolher entre o modo de não-combinação dos blocos (adaptação do enlace) e o modo de combinação (redundância incremental) sem a necessidade de notificar o transmissor. Daí, se temporariamente o receptor entra no modo de não combinação (Adaptação do Enlace) devido a um estouro no *buffer* de recepção, o modo de combinação (Redundância Incremental) será possível assim que espaço no *buffer* de recepção esteja disponível novamente.

O controle da escolha de uma MCS na prática é feito tanto no *uplink* como no *downlink*, baseado na qualidade do canal medida tanto na estação móvel quanto na estação rádio base. É importante usar uma medida de qualidade que possa ser mapeada em uma probabilidade de erro de blocos (BLER) se não a própria BLER.

No EGPRS mudança entre as MCS é permitida quando forem solicitadas retransmissões, através da classificação das MCS's em famílias (Tabela 1). Os tamanhos dos blocos de dados RLC dentro de uma mesma família, são múltiplos uns dos outros por exemplo, os membros da família B: MCS-7 (896 bits), MCS-5 (448 bits) e MCS-2 (224 bits).

De acordo com a qualidade do enlace, um esquema inicial de modulação e codificação (MCS) é selecionado para um bloco de rádio. Para as retransmissões, a mesma ou outra MCS da mesma família da MCS original pode ser escolhida. Por exemplo, a MCS-9 possui dois blocos RLC por bloco de rádio, cada um com 592 bits (Figura 2). Se a condição do canal deteriorar, os blocos RLC de 592 bits podem ser cada um retransmitidos usando a MCS-6 (8-PSK codificado com  $R_1$  igual a 1/2). Se for necessária uma codificação ainda mais robusta, o bloco RLC de 592 bits pode ser segmentado em dois sub-blocos de 296 bits, e cada um poderia ser transmitido usando a MCS-3 (GMSK codificado com  $R_1$  igual a 4/5). Os bits SB deverão indicar que se trata de uma porção segmentada de um bloco de 592 bits e não uma nova transmissão usando blocos com 296 bits.

Blocos RLC que são retransmitidos usando uma nova MCS deverão na primeira transmissão após a mudança entre as MCS serem enviados com o padrão de puncionamento indicado de acordo com a Tabela. 2. Este procedimento permite o receptor operar no modo ARQ híbrido tipo I ou ARQ híbrido tipo II [28].

No GPRS, o bloco de rádio de cada esquema de codificação é entrelaçado sobre quatro *bursts*. No EGPRS, o entrelaçamento para a MCS-8 e MCS-9, que possuem dois blocos de dados RLC por bloco de rádio, é feito sobre dois *bursts*. Este esquema é conhecido como 2BB (2 Burst Based). As demais MCS's são entrelaçados sobre quatro *bursts*, como no GPRS. Existem duas razões para este novo esquema:

- A primeira é que esta permite a mudança entre as MCS sem uma resegmentação como descrito anteriormente;
- E a mais importante é que aumenta a vazão para estas MCS's. Utilizando-se a técnica do salto em frequência (FH), um bloco de dados desprotegido quando espalhado sobre vários *bursts* GSM produzirá uma grande taxa de erro de bloco (BLER), já que a interferência, ruído ou desvanecimento levam ao erro do bloco inteiro. Se ao contrário, cada bloco RLC é separadamente entrelaçado, isto é sobre dois *bursts* cada, este efeito é reduzido.

## 5. DESEMPENHO EGPRS COM ADAPTAÇÃO DO ENLACE

Em [11] é mostrada a vazão para os nove esquemas de modulação e codificação MCS's, como uma função da qualidade

MCS (I)	MCS (F)	Puncionamento MCS (I)	Puncionamento MCS (F)
MCS-9	MCS-6	P <sub>1</sub> ou P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>
		P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>
MCS-6	MCS-9	P <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>
		P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>
MCS-7	MCS-5	Qualquer	P <sub>1</sub>
MCS-5	MCS-7	Qualquer	P <sub>2</sub>
Outras Combinações		Qualquer	P <sub>1</sub>

**Tabela 2.** Regra de Puncionamento nas retransmissões, onde MCS (I) indica a MCS inicial antes da mudança de MCS na retransmissão e MCS (F) a MCS após a mudança.

do canal mapeada neste caso na relação sinal ruído Eb/No. O transmissor e o receptor são considerados perfeitos, isto é, ruído de fase, deslocamento de frequência e o desequilíbrio de fase e amplitude são desprezados.

O efeito da diversidade espacial não é considerado assim como a técnica do salto em frequência (FH). O modelo de canal usado é o tipicamente urbano com velocidade de 3 Km/h (TU3) [9]. E como controle da qualidade do enlace apenas a Adaptação do Enlace (LA) é considerada. A Figura 3 apresenta os resultados reportados em [11].

Foram transmitidos 5000 blocos, e um bloco é considerado errado se um ou mais dos eventos ocorrer:

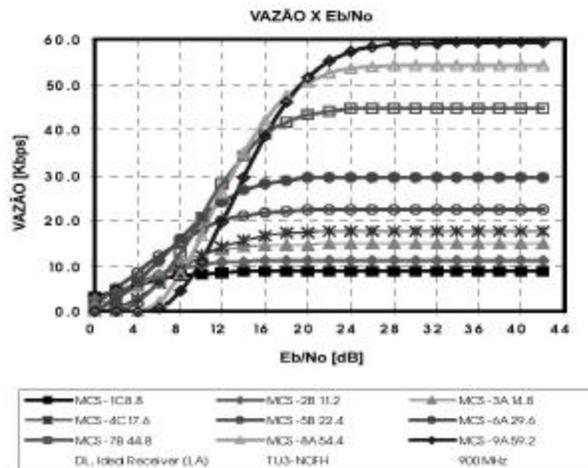
- Detecção errada do esquema de modulação;
- Erro detectado pelo HCS;
- Erro detectado pelo BCS;
- Erro na detecção do formato do cabeçalho.

A vazão (*throughput*) é definida pela expressão:  $Vazão = (1 - BLER) \cdot R_{máx}$ .

Onde  $R_{máx}$  é a taxa de dados para a MCS em questão (Tabela 1). Pode ser visto no gráfico que a vazão para cada MCS depende fortemente das condições do canal. Sobre condições favoráveis do canal, cada MCS atinge sua vazão máxima e, portanto, a MCS-9 tem melhor desempenho, já que neste esquema nenhuma redundância é enviada. Mas em condições de canal desfavoráveis os esquemas mais protegidos mostram melhor desempenho.

## 6. DESEMPENHO COM REDUNDÂNCIA INCREMENTAL

A Figura 4 mostra uma comparação da vazão entre a adaptação do enlace (LA) e a redundância incremental (IR) também reportada em [11]. O modelo de canal considerado é o tipicamente urbano com velocidade de 3 Km/h (TU3) com salto em frequência ideal (FH) [9]. O ganho na vazão obtido com IR para baixos valores de Eb/No é bem elevado; já para altos valores de Eb/No os dois esquemas convergem devido ao baixo número de retransmissões. O número de padrões de puncionamento não fornece um ganho muito relevante no desempenho, como pode ser visto comparando-se IR (P1+P2) e IR (P1+P2+P3).



**Figura 3.** Vazão [Kbps/time slot] para o modelo de canal TU3 [11]. Onde a legenda indica o número da MCS, a família e o *throughput* máximo por *time slot*.



**Figura 4.** Comparação entre LA e IR, onde IR (P1+P2) e IR (P1+P2+P3) indicam redundância incremental com dois e três padrões de puncionamento, respectivamente. [11].

## 7. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Podemos concluir que o controle da qualidade do enlace é essencial ao EDGE para atingir altas taxas de transmissão no ambiente macro-celular de comunicações móveis. Isto se deve ao novo esquema de modulação introduzido e ao objetivo de se maximizar a taxa de transmissão com uma utilização eficiente das condições do canal. Esta eficiência advém dos nove esquemas de modulação e codificação MCS disponíveis no EGPRS, podendo-se maximizar o *throughput* em diversas condições do canal com a utilização da adaptação do enlace (LA) e redundância incremental (IR).

O modo de LA pode ser utilizado como uma solução de baixa complexidade, já que não se tem a necessidade de *buffer* de recepção. O desempenho superior da IR é pago ao custo da necessidade de um *buffer* de recepção para o armazenamento de blocos errados a fim de ser feita a combinação.

Como uma perspectiva futura, já está sendo desenvolvido um simulador do controle da qualidade do enlace para o EGPRS. Onde poder-se-á avaliar o desempenho do sistema em diferentes situações do canal e em conjunto com diferentes implementações de algoritmos de processamento na recepção.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] Eriksson, S. et al, "Comparison of Link Quality Control Strategies for Packet Data Services in EDGE". *Proceedings of IEEE VTC'99*.
- [2] Bettstetter C., Vögel H.J. and Eberspächer J., "GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols and Air Interface". *IEEE Communications Surveys*, vol. 2, no. 3, 1999.
- [3] International Telecommunication Union web page : <http://www.itu.int/imt/index.html>
- [4] ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-200, 1998.
- [5] Mouly M. and Pautet M.B., "The GSM System for Mobile Communications". 1992. ISBN 2-9507190-0-7.
- [6] GSM 03.64: "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Overall Description of the GPRS Radio Interface; Stage 2". Version 8.5.5. Release 1999.
- [7] Murota K. and Hirade K., "GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony". *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-29, No. 7, pp. 1044-1050, July 1981.
- [8] GSM 05.04: "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Modulation". Version 8.1.0. Release 1999.
- [9] GSM 05.05: "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Radio Transmission and Reception". Version 8.5.1. Release 1999.
- [10] Nanda S., Balachandran K. and Kumar S. "Adaptation Techniques in Wireless Packet Data Services". *IEEE Communications Magazine*, Jan. 2000.
- [11] Molkdar D. and Lambotaran S., "Link Performance Evaluation of EGPRS in LA and IR". *Proc. of Fall VTC 2000* 52<sup>nd</sup>.
- [12] Eriksson S. et al, "Link Quality Control for Packet Data Services in EDGE". *Technical Reporting*.
- [13] Goldsmith A. J. and Chua S.G., "Adaptive Coded Modulation for Fading Channels". *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 46, No. 5, May 1998.
- [14] Goldsmith A. J. and Chua S.G., "Variable-Rate Variable Power MQAM for Fading Channels". *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 45, No. 10, October 1997.
- [15] Ue T., Sampei S. and Morinaga N. "Symbol Rate and Modulation Level-Controlled Adaptive Modulation/TDMA/TDD System for High-Bit-Rate Wireless Data Transmission". *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 4, November 1998.
- [16] Queseth O., Gessler F. and Frodigh M. "Algorithms for Link Adaptation in GPRS". *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 2, pp. 943-947, 1999.
- [17] Gutiérrez P. J., Wigard J., Andersen P. N., Damgaard H. C. and Mogensen P. "Performance of Link Adaptation in GPRS Networks". *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 2, pp. 442-444, 2000.
- [18] Lin S. and Costello D. J., "A hybrid ARQ scheme with parity retransmission for error control of satellite channels". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-30, pp. 1701-1719, July 1982.
- [19] Wang Y. M. and Lin S., "A modified selective type II hybrid ARQ system and its performance analysis". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-31, pp. 593-607, May 1983.
- [20] Kallel S. and Haccoun D., "Generalized Type II Hybrid ARQ Scheme Using Punctured Convolutional Coding". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 38, No. 11, Nov. 1990.
- [21] Kallel S., "Analysis of a Type II Hybrid ARQ Scheme with Code Combining". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 38, No. 8, August 1990.
- [22] Kallel S., "Complementary Punctured Convolutional (CPC) Codes and Their Applications". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 43, No. 6, June 1995.
- [23] Cain J. B., Clark G. C. and Geist J. M., "Punctured Convolutional Codes of Rate (n-1)/n and Simplified Maximum Likelihood Decoding". *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. II-25, No. 1, January of 1979.
- [24] Hagenauer J., "Rate-Compatible Punctured Convolutional (RCPC Codes) and Their Applications". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 36, No. 4, April. 1988.
- [25] Balachandran K., Kadaba S. R. and Nanda S., "Channel Quality Estimation and Adaptation for Cellular Mobile Radio". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, No. 7, July. 1989.
- [26] Chase D., "Code Combining. A maximum-likelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noisy packets". *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-33, pp. 385-393, May 1985.
- [27] GSM 05.03: "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); "Channel Coding". Version 8.6.1. Release 1999.
- [28] GSM 04.60: "General Packet Radio Service (GPRS); Mobile Station (MS) - Base Station System (BSS) interface; Radio Link Control/Medium Access Control (RLC/MAC) Protocol". Version 8.7.0. Release 1999.