

6

Redução do Overhead na Interface Aérea para os Pacotes de VoIP Transmitidos no Modo IMS

Este Capítulo objetiva fornecer uma análise para a redução do número de bits a serem transmitidos na interface aérea durante uma chamada de VoIP. Como resultado desta análise, são indicados procedimentos a serem adotados no UMTS de forma a conseguir essa redução de bits, sem afetar o QoS da conexão. Em decorrência, é reduzida a energia total necessária para a transmissão da chamada, conseguindo, assim, uma otimização adicional para a transmissão de VoIP pelo IMS.

6.1

Conceituação Geral

Conforme comentado no Capítulo anterior, a utilização da técnica de compressão de cabeçalhos (ROHC) em muito contribui para se conseguir uma redução do número de bits a serem transmitidos na interface aérea. Entretanto, pode ser mostrado que é possível se conseguir uma redução adicional de bits, mantendo o mesmo desempenho quanto à taxa de erros, a partir da adoção de três técnicas:

- Eliminação da transmissão do *checksum* do UDP;
- Operação do RLC em Modo Transparente;
- Redução do CRC do Nível Físico;

As sub-seções seguintes procuram esclarecer esses aspectos.

6.1.1

Eliminação da Transmissão do *Checksum* do UDP

O cabeçalho do IPv4 contém um campo *Checksum* que tem por objetivo proteger apenas os dados do cabeçalho, sem atuar sobre o *payload*. Nestas circunstâncias, o campo *Checksum* do cabeçalho do datagrama UDP que estiver sendo encapsulado, será de utilização opcional, conforme o IETF.

Já no caso do IPv6, não há o campo *Checksum* no seu cabeçalho, o que implica na obrigatoriedade de uso do campo *Checksum* do datagrama UDP que estiver sendo encapsulado, ainda segundo o IETF. Com esse procedimento garante-se o envio do pacote para o endereço correto, uma vez que o *Checksum* do UDP cobre, além dos dados do *payload*, o cabeçalho do UDP acrescido do *pseudo-header*, conforme mostra a Figura 25.

No caso da transmissão de VoIP pelo IMS, no início da fase de envio de dados, é transmitido o pacote IR de inicialização (Apêndice 5), contendo dados fixos, entre eles os endereços IP de origem e destino, bem como o endereço das portas. Essa transmissão sempre está protegida pelo CRC do Nível Físico, sendo que, em caso de ocorrência de erros, o pacote deve ser descartado. Então, garante-se a chegada correta dos endereços IP de origem e destino, bem como dos endereços das portas. Quanto à ocorrência de possíveis erros no *payload* dos pacotes de voz/SID, estes serão também detectados pelo CRC do Nível Físico. Por meio de técnicas de simulação, é mostrado que, na verdade, a correção de erro devido ao *checksum* é redundante perante a correção de erro a partir do CRC do nível físico, para os valores normalmente considerados de taxa de erro na interface aérea.

Em vista do exposto, justifica-se a transmissão dos pacotes de voz/SID na interface aérea sem o *checksum*, sendo ele recalculado no destino e incluído no pacote. Está sendo preservada a integridade dos endereços de origem e destino, bem como a informação do *payload*.

6.1.2

Operação do RLC em Modo Transparente

Como analisado na seção 4.1, o 3GPP recomenda o emprego do RLC no *Unacknowledge Mode* (UM). Isto implica a utilização de bytes adicionais de cabeçalho, conforme pode ser visualizado na Figura 23. O que se propõe é utilizar o RLC no *Transparent Mode* (TM), que não possui qualquer cabeçalho. Isto não se constitui em uma grande exceção, na medida em que a transmissão de voz pelo modo CS utiliza esse modo de operação do RLC.

Entretanto, deve-se observar que a utilização de compressão de cabeçalhos (ROHC) implica na existência de pacotes a serem transmitidos de diferentes comprimentos. Dessa forma, é necessário o emprego da técnica de *padding*, para proporcionar o completamento dos pacotes de informação dentro dos quadros RLC designados. Aqui surge um problema, pois o Modo Transparente de operação do RLC não admite a realização da função *padding* que deve ser executada por outro componente do UMTS. Sugere-se a inclusão desta funcionalidade no PDCP^[40], que deverá ter a sua operação modificada.

6.1.3

Redução do CRC de Nível Físico

O 3GPP recomenda a adoção do CRC-16 no Nível Físico, para a transmissão de pacotes de VoIP. No entanto, pode-se mostrar (Seção 6.3) que o CRC-8 é suficiente para se obter a detecção de erro nos níveis requeridos.

6.2

Análise do Sistema Convencional de Transmissão de VoIP pelo IMS

A Figura 32 ilustra a arquitetura de camadas de forma simplificada, porém contendo os componentes de interesse para a análise a ser efetuada.

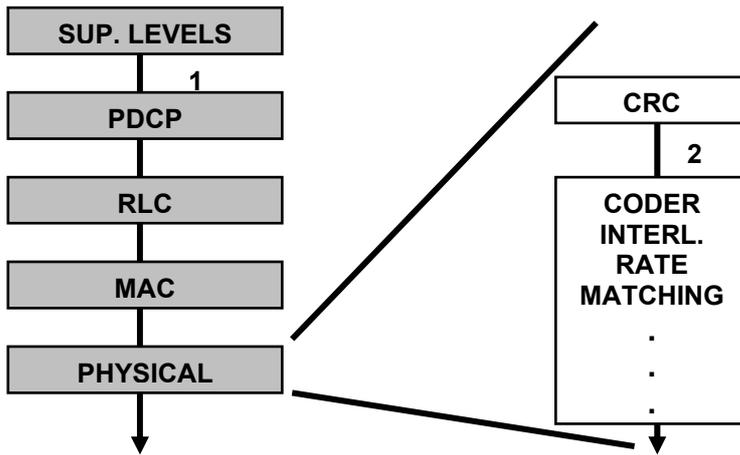


Figura 32 - Arquitetura de Camadas para o IMS (Simplificada).

A análise que se segue restringe-se aos intervalos de tempo de uma chamada VoIP em que estão sendo transmitidos pacotes de informação com cabeçalho comprimido do tipo R-0 (Apêndice 5). De fato, essa situação ocorre durante, aproximadamente, 80% do tempo total da conexão.

A Figura 33 representa o pacote de voz antes da compressão do cabeçalho, isto é, no ponto assinalado por (1) na Figura 32. O *checksum* deve cobrir 87 bytes (incluindo o *pseudo-header*). O *payload* de voz é da forma vista na Figura 28.

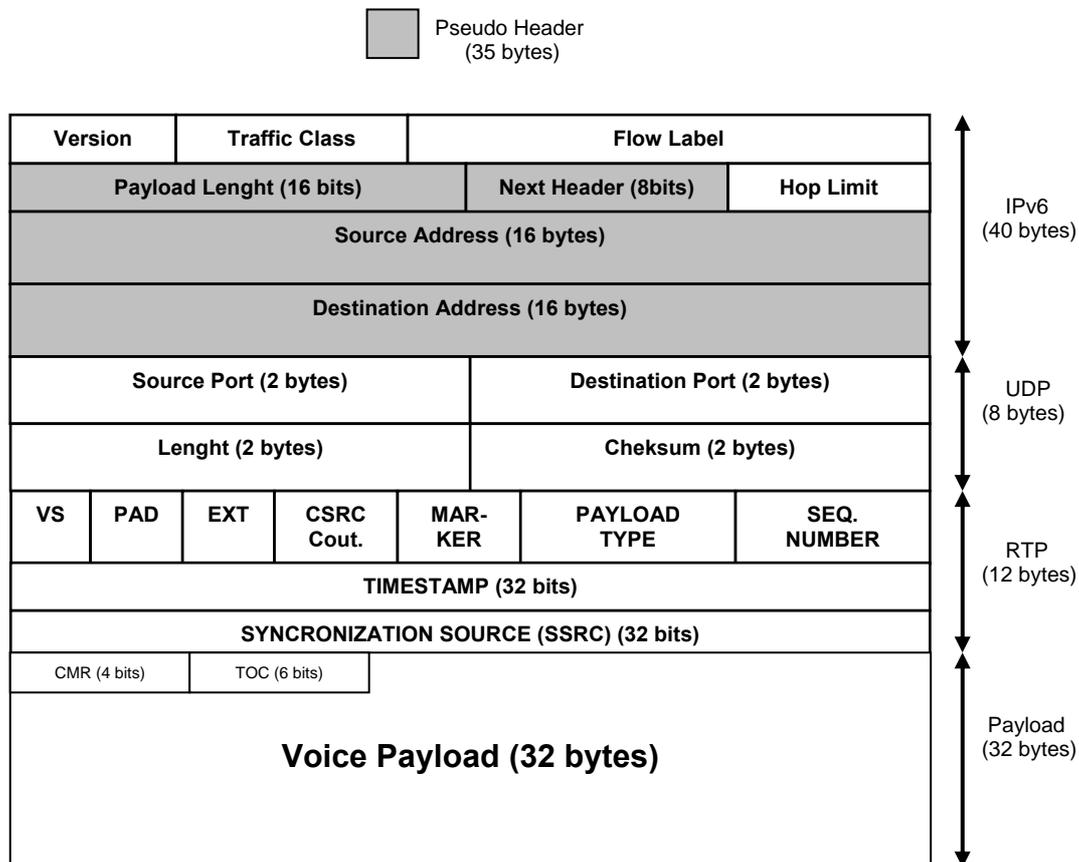


Figura 33 - Pacote de Voz antes da compressão do cabeçalho.

Após a compressão (R-0), no ponto assinalado por (2) da Figura 32, tem-se o pacote com o formato visto na Figura 34. O RLC operando no *Unacknowledge Mode* (UM) possui um cabeçalho de 3 bytes (ver a Figura 23). Em seguida vem o cabeçalho do R-0, com o comprimento de 1 byte. O payload de voz possui um cabeçalho contendo os campos CMR e TOC (ver a Figura 28). Após o payload vem o *checksum* do UDP (2 bytes) e, finalmente, tem-se o CRC-16 (2 bytes).

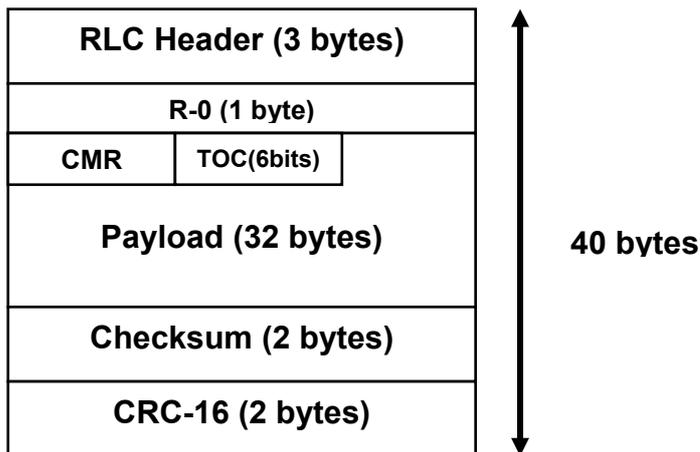


Figura 34 - Pacote de Voz no Ponto (2) da Figura 32.

A transmissão de pacotes R-0 por um canal binário caracterizado por uma determinada BER (*Bit Error Rate*) foi simulada (ver Apêndice 6). No receptor foi realizada primeiramente a detecção de erro pelo CRC e, em seguida, pelo *checksum*. Assim, foram computados dois valores de FER (*Frame Error Rate*): (i) a razão entre o número de quadros com erro detectados pelo CRC e o número total de quadros transmitidos; (ii) a razão entre o número de quadros com erro detectados pelo *checksum* e o número de quadros considerados sem erro pelo CRC. São denominados "pacotes com erro residual" e "FER residual", aqueles pacotes contendo erro e a FER obtida após a detecção pelo *checksum*, respectivamente. As Figuras 35, 36 e 37 mostram os resultados da FER obtida para diferentes valores de CRC (16, 8 e 4), com a BER variando no intervalo de 10^{-4} a 5×10^{-3} . Convém observar que o 3GPP considera aceitável uma BER de 5×10^{-4} para a transmissão de VoIP^[10].

Com CRC-16, observa-se que não são detectados quadros com erro pelo *checksum*, conforme mostra a Figura 35, significando que o CRC-16 fornece uma proteção completa para a faixa de BER de interesse. As Figuras 36 e 37,

correspondentes aos casos de CRC-8 e CRC-4, mostram que pacotes com erro residual ocorrem somente para valores de BER substancialmente acima da referência de 5×10^{-4} . A Figura 38 ilustra o comportamento da FER para o caso de um canal sujeito a uma distribuição de *Rayleigh* para dois raios defasados no tempo e com diferenças de ganho conforme a indicação do eixo das abcissas. Esta situação é típica para estudos de propagação em sistemas móveis. Também aqui se verifica que a FER residual do *checksum* permanece em baixos valores, comparativamente ao desempenho do CRC-8. Esses resultados mostram a redundância introduzida pelo *checksum*, no tocante à detecção de erros na interface aérea.

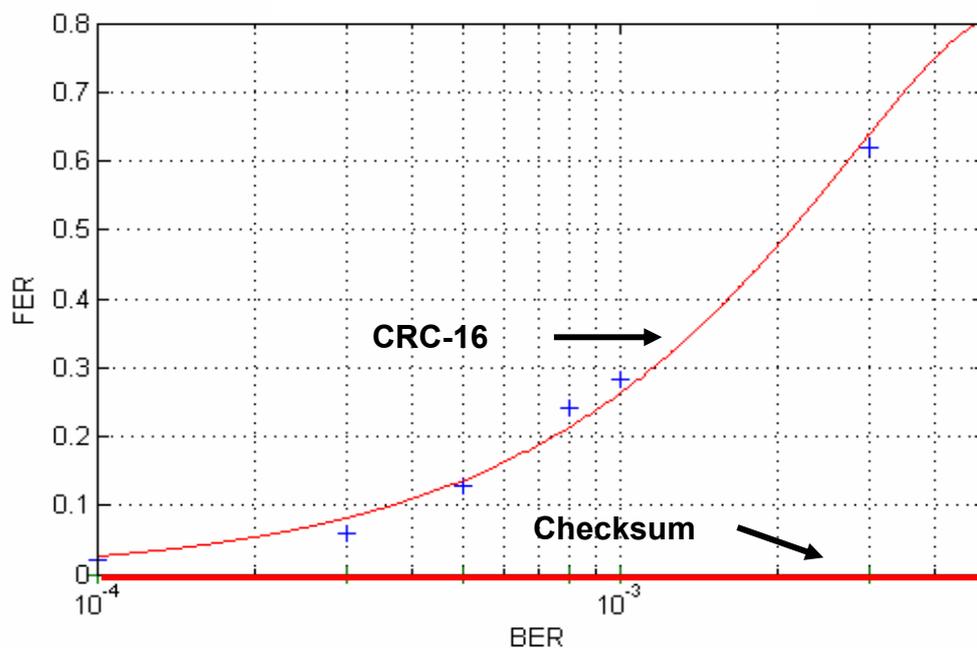


Figura 35 - FER x BER para CRC-16.

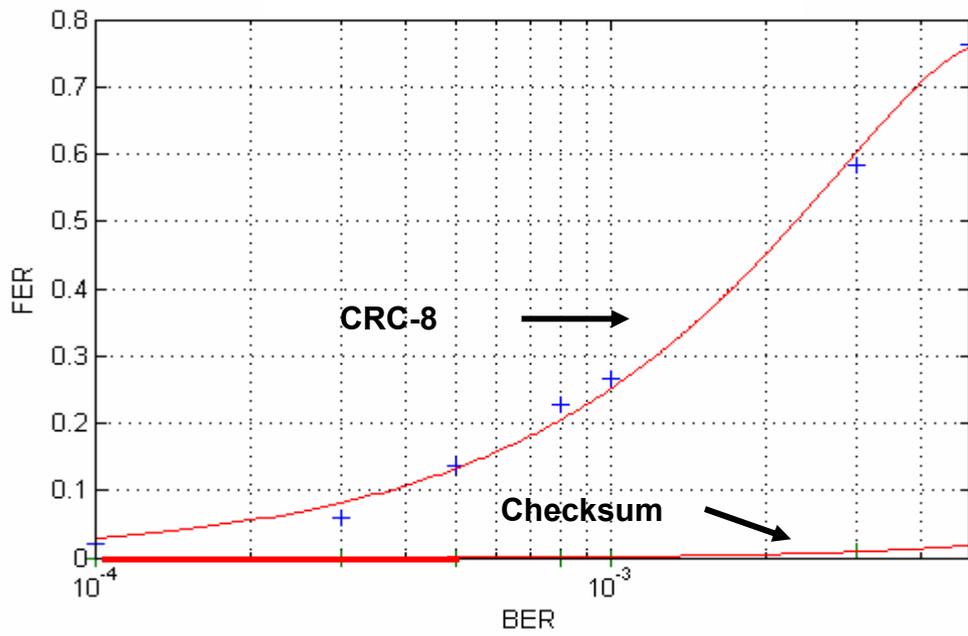


Figura 36 - FER x BER para CRC-8.

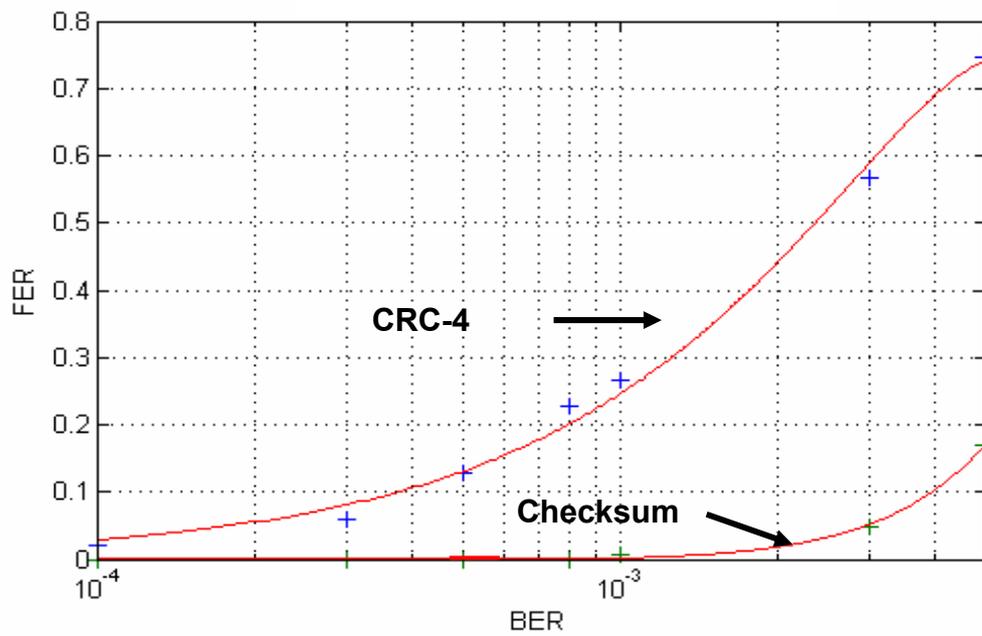


Figura 37 - FER x BER para CRC-4.

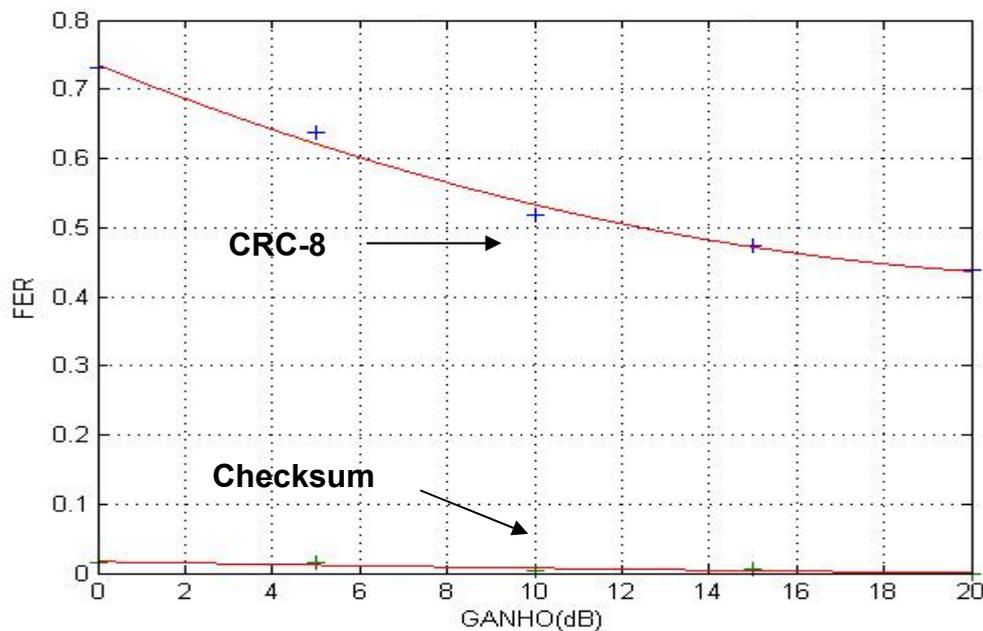


Figura 38 - FER x GANHO para CRC-8 e Distribuição de *Rayleigh*.

A partir desses resultados conclui-se não ser necessário transmitir o *checksum* na interface aérea. Então, de forma a se manter coerência com o IETF, deve-se recalculá-lo no destino, para a sua posterior inclusão no campo apropriado do cabeçalho do UDP do pacote de voz. Também, esses resultados mostraram que o CRC-16 pode ser substituído pelo CRC-8, sem que ocorra algum impacto na detecção de erro. Adotando estes procedimentos consegue-se reduzir de 9 bytes (após o codificador turbo) a quantidade total de bytes a serem transmitidos na interface aérea.

6.3

Análise do Sistema Alternativo de Transmissão de VoIP pelo IMS

Considerando os resultados anteriormente obtidos, é proposto um novo padrão para a transmissão de pacotes de VoIP pelo IMS. Esse novo padrão considera o seguinte: (i) o RLC deve operar no Modo Transparente; (ii) deve-se utilizar CRC-8 para proteger apenas o cabeçalho do pacote R-0 e o cabeçalho do *payload* de voz (isto é, os campos CMR mais o TOC). Essa estratégia está baseada nos resultados apresentados na referência [41], que mostra o benefício

que se obtém ao se enviar pacotes corrompidos para o decodificador de voz, em vez de simplesmente descartá-los.

A Figura 39 mostra a nova arquitetura proposta, em que a Figura 40 apresenta o formato do pacote de VoIP no ponto assinalado por (2) na Figura 39 (observar que a camada RLC não aparece nesta nova arquitetura).

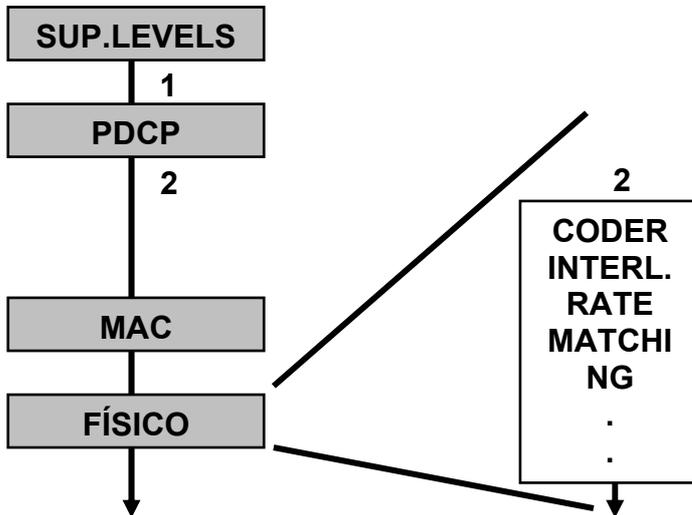


Figura 39 - Arquitetura Alternativa de Camadas para o IMS (Simplificada).

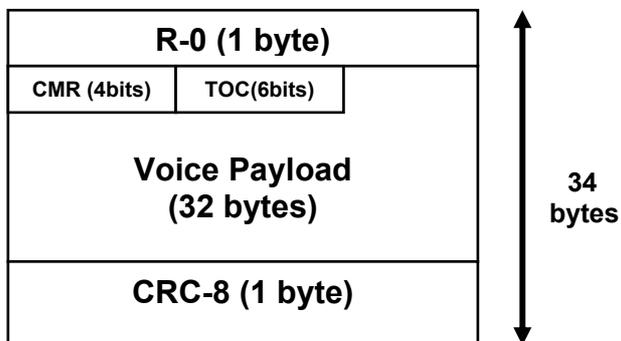


Figura 40 - Pacote de Voz no Ponto (2) da Figura 38.

O formato do pacote no ponto assinalado por (1) na Figura 39 é aquele mostrado na Figura 33. A Figura 41 mostra o comportamento da FER para esta situação. Comparando este resultado com aquele previamente apresentado (Figura 36), pode-se verificar que, agora, a FER é uma ordem de grandeza inferior.

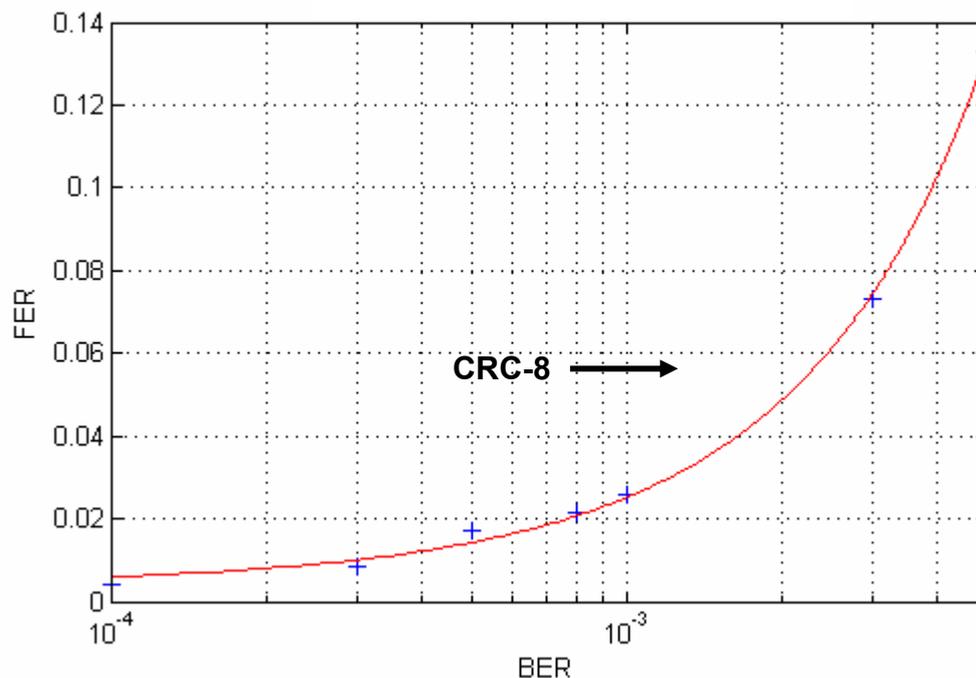


Figura 41 - FER x BER para CRC-8 Protegendo apenas o Cabeçalho.

Observe-se que, nessa situação, o decodificador de voz pode estar recebendo quadros de voz contendo erros no *payload* porém, segundo [41], isto é mais interessante do que não receber quadro algum. Por meio de uma comparação entre esses resultados e aqueles mostrados na seção 6.2, verifica-se que a adoção desta alternativa conduz a uma redução de 6 bytes no pacote de voz, antes do Codificador Turbo (3 para o cabeçalho do RLC, 2 para o *checksum* e 1 para o CRC). Conseqüentemente, na interface aérea (após o Codificador Turbo) tem-se uma economia de 18 bytes na transmissão do pacote de voz.

6.4

Descrição da Operação do PDCP Modificado

Conforme comentado anteriormente, a implementação da Alternativa proposta requer que o PDCP assuma algumas funções adicionais. Uma vez que o RLC passa a operar no Modo Transparente, ele não mais pode executar as funções de *padding*, que devem ser redirecionadas para o PDCP. Também, uma vez que o CRC-8 deve atuar somente sobre os cabeçalhos e não mais sobre todo o pacote,

sua função também deve ser deslocada do Nível Físico para o PDCP. Então, esse componente deve operar da forma vista a seguir:

O PDCP deve dispor de uma tabela contendo, para cada tipo de codec AMR, o comprimento total dos diferentes pacotes de voz/SID com os seus cabeçalhos comprimidos associados, bem como os valores dos *TB Sizes* (*Transport Blocks Sizes*) definidos pelo RAB a ser utilizado para a transmissão de VoIP.

Ao receber, do nível de Aplicação, um primeiro pacote de voz de uma nova conexão, para ser transmitido, o PDCP deve adotar o seguinte procedimento:

- Ler o campo *Payload Type* do RTP deste pacote inicial (que é o pacote ROHC de inicialização, designado por IR);
- Caso o campo *Payload Type* do RTP indique codec AMR, o PDCP deve ler o campo FT (*Frame Type*) do quadro de voz;
- Após consulta à tabela, o PDCP deve efetuar a operação de *padding*, fazendo o completamento do pacote para o valor do *TB Size* correspondente;
- O PDCP deve executar o CRC-8 nos limites dos cabeçalhos;
- Em seguida, o PDCP deve enviar o pacote para o RLC, no modo Transparente;

O mesmo procedimento se aplica no sentido inverso, ou seja, aquele em que o PDCP está recebendo um pacote proveniente dos níveis inferiores. Nessa direção, é recomendável que o *checksum* seja recalculado e inserido no pacote. A referência [42] sintetiza os resultados aqui apresentados.

O Apêndice 6 descreve os mecanismos de simulação, desenvolvidos no Matlab, que foram utilizados para a obtenção das curvas mostradas nas Figuras 35, 36, 37, 38 e 41.

O Capítulo seguinte demonstra, com uma aplicação prática, que esta redução no comprimento dos pacotes de voz associada às técnicas de otimização de *padding* e *Rate Matching*, é suficiente para colocar a transmissão de VoIP pelo IMS em condições de igualdade com a transmissão de voz pelo CS, no que se refere à energia total utilizada.