

Mecanismo de Controle de Fluxo Aplicado na Transmissão de Vídeo no Sistema LTE

Igor M. B. Dias¹, Marcelo Palheta¹, Ananias P. Neto¹

¹Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) – Curso de Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade da Amazônia (UNAMA)
CEP 66060-902 – Belém – PA – Brasil

dias.bcc@gmail.com, marcellopalheta@gmail.com, apneto@unama.br

Abstract. *This work reports a comparative study of metrics for Quality of Experience (QoE) in LTE system (Long Term Evolution) for different values of GoP (Group of Pictures), using flow control and QoS (Quality of Service) mapping between the eNB (E-UTRAN Node B) and the UE (User Equipment), based on the search of the optimal solution mechanism QFC-LTE (QoE Flow Control LTE). The comparisons made in this paper, discuss the metrics: PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), SSIM (Structural Similarity Index) and VQM (Video Quality Metric). The results obtained from the simulations show the impact and the benefits of proposal compared to conventional methods.*

Resumo. *Este trabalho relata um estudo comparativo de métricas de Qualidade de Experiência (QoE) em sistema LTE (Long Term Evolution) para diferentes valores de GoP (Group of Pictures), utilizando o controle de fluxo e mapeamento de QoS (Quality of Service) entre a eNB (E-UTRAN Node B) e o UE (User Equipment), baseado na busca de solução ótima do mecanismo QFC-LTE (QoE Flow Control LTE). As comparações realizadas neste trabalho abordam as métricas: PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), VQM (Video Quality Metric) e SSIM (Structural Similarity Index). Os resultados obtidos a partir das simulações mostram o impacto e os benefícios da proposta em comparação aos métodos convencionais.*

1. Introdução

Atualmente, há uma gama de serviços de telecomunicações que transmitem voz, vídeo e dados através de complexas redes de transmissão, sendo que em alguns casos, o serviço não tem uma qualidade aceitável pelo usuário final [Begazo *et al* 2011].

Nas últimas décadas, as redes móveis têm permitido grandes avanços e mudanças nos sistemas de comunicação, garantindo maior mobilidade e disseminação de conteúdo. A Tecnologia LTE (*Long Term Evolution*) é a evolução da tecnologia de rede móvel padronizada pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), que utiliza novos sistemas de múltiplo acesso a interface aérea, para prover novos serviços e aplicações de conteúdo, tais como, MMOG (*Multimedia Online Gaming*), TV Móvel, Web 2.0, *streaming* de vídeo, download de músicas e muitos outros [McQueen 2009].

As redes de celular de próxima geração foram criadas para facilitar o tráfego de comunicações de dados em alta velocidade, além das chamadas de voz. Novos padrões e tecnologias estão sendo implementadas para permitir que redes sem fio substituam linhas de fibra óptica ou cobre entre pontos fixos afastados por vários quilômetros (acesso sem fio fixo) [Rappaport 2009].

Um dos desafios na concepção das redes de próxima geração consiste no desenvolvimento de arquiteturas que viabilizem tanto a continuidade do serviço quanto a visão centrada no usuário, por meio do suporte adequado na QoE para aplicações multimídia, e que proporcionem sempre a melhor conectividade aos usuários móveis [Silva *et al* 2010].

A proposta deste trabalho é avaliar o desempenho da tecnologia de rede móvel LTE, baseada em métricas de QoE na disseminação de conteúdo multimídia. Avaliar a transferência de vídeos para diferentes valores de congestionamento e GoP, utilizando o controle de fluxo e mapeamento de QoS na rede de acesso LTE, compreendido entre a eNB (*E-UTRAN Node B*) e o UE (*User Equipment*). O método utiliza, dentre outros critérios, parâmetros da aplicação de Vídeo, fluxo de dados FTP e VoIP, além da relação do número de UEs e as condições de congestionamento do sistema LTE.

O artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2 são discutidos os trabalhos relacionados. A seção 3 apresenta uma abordagem sobre a rede LTE. As métricas de Qualidade de Experiência são mostradas na seção 4. A seção 5 apresenta o mecanismo de controle de fluxo baseado na formulação matemática do QFC-LTE. As simulações e resultados finais são descritos na seção 6, enquanto a seção 7 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são apresentadas algumas propostas de mecanismos de controle de fluxo, a fim de promover uma melhor qualidade do tráfego de vídeo, levando em consideração as características deste tipo de fluxo.

Em [Begazo *et al* 2011] são realizados testes com um cenário de simulação de rede, onde são parametrizadas diferentes condições de rede, considerando um serviço de vídeo *streaming*, para o qual são consideradas diferentes qualidades de vídeo, utilizando controle de fluxo convencional. Os resultados mostram que a qualidade de vídeo é afetada diretamente pelos fatores como, o atraso e a perda de pacotes.

A proposta apresentada em [Hong *et al* 2010], desenvolveu um método que realiza a transmissão do fluxo de vídeo, denominado SAPS (*Significance Aware Packet Scheduling*), que ajusta os intervalos de tempo entre os pacotes baseado na significância do conteúdo. O trabalho compara os resultados com algoritmos utilizados na literatura, ambos com controle de fluxo *Drop Tail*. O SAPS apresentou uma melhor significância na QoE, quando comparado aos métodos tradicionais.

No trabalho desenvolvido em [Qiu *et al* 2010] é apresentado um controle de fluxo baseado na HVQ (*Hierarchy Virtual Queue*), o mecanismo propõe uma hierarquia de fila virtual evitando a perda de pacotes no sistema LTE. Além disso, o artigo investiga o mecanismo HVQ para diferentes classes de tráfego como, VoIP, Vídeo, *Best Effort*. Os resultados obtidos mostram que o mecanismo HVQ realiza o controle de fluxo com uma quantidade baixa de recursos, no entanto, produz melhor desempenho para o sistema LTE.

3. Rede LTE

A rede LTE é um padrão de tecnologia de banda larga móvel padronizada pela 3GPP, e está sendo desenvolvida para ser utilizada pelas operadoras de redes móveis como evolução das redes 3G (Terceira Geração), resultando, assim, nas Redes 4G (Quarta Geração) e foi projetada para suportar de forma eficiente vários tipos de serviços, em especial orientados a pacotes como, por exemplo, o VoIP. A arquitetura LTE está dividida, segundo [Holma e Toskala 2009], em quatro principais domínios de alto nível:

UE (*User Equipment*), E-UTRAN (*Evolved UTRAN*), EPC (*Evolved Packet Core*) e *Services*.

4. Métricas de QoE

O PSNR é uma métrica objetiva que compara a qualidade do vídeo recebido pelo usuário em relação ao vídeo original. O PSNR, desta forma, determina o valor máximo de luminosidade para cada pixel, comparando a taxa de erro do vídeo recebido. É formulado matematicamente a partir da equação (1), para um quadro original codificado a 8 bpp (256 níveis de cinza) e expresso em dB [Rodríguez e Bressan 2012]:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (1)$$

Conforme cita [Rodríguez e Bressan 2012], a métrica SSIM, diferentemente do PSNR, que somente compara a taxa de erro do vídeo recebido em relação ao vídeo original, avalia o vídeo recebido considerando outros fatores, como o HVS (*Human Visual System*). Surgindo em função de o HVS ser altamente eficiente em extrair informações visuais das imagens/vídeos e não das taxas de erro, o SSIM analisa a similaridade, luminosidade, contraste e estrutura. Os valores extraídos do *frame* reconstituído pelo usuário e do *frame* original são armazenados em vetores, separadamente, sendo um vetor para cada cor. Posteriormente, obtém-se a média de cada vetor, e a combinação dessas três médias gera o valor do SSIM, indicando a qualidade do vídeo [Xinbo *et al* 2009]. O valor do SSIM é obtido pela equação (2):

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2)$$

onde apresenta a função de comparação de brilho na primeira parcela da equação, μ representa a intensidade de brilho médio das imagens x e y , a função comparação contraste é representado pela segunda parcela da equação, onde σ representa o desvio padrão da amostra do brilho das duas imagens x e y , além da função de comparação de estrutura que relaciona a covariância de amostras de luminosidade dos quadros.

A métrica VQM, assim como as demais, baseia-se na comparação do vídeo recebido pelo usuário em relação ao vídeo original, comparando o brilho e o contraste. Conforme afirma [Gelonch *et al* 2010].

5. Método de Controle de Fluxo QFC-LTE

A proposta explorada neste trabalho propõe o QFC-LTE (*QoE Flow Control LTE*), capaz de realizar controle de fluxo e mapeamento de QoS entre a eNB e o UE baseado na busca de solução ótima da função objetivo $f_{QFC-LTE}(rv_n, ue_n, C_n, rb_n)$. O QFC-LTE é matematicamente formulado como em (3):

$$f_{QFC-LTE} = (rv_n \times ue_n) + [(1 - \lambda) \times (rb_n \times ue_n)] + C_n \quad (3)$$

onde rv_n representa a quantidade de recurso de Vídeo e VoIP destinado a uma conexão n , ue_n equivale ao número de UEs no sistema LTE destinado a n conexões, rb_n representa quantidade de recurso de BE (*Best Effort*) destinado a uma conexão n e C_n representa o nível de congestionamento na rede. O fator λ é uma variável que assume o valor 1 se a conexão é alocada somente para os tráfegos prioritários, e recebe 0, caso a conexão é alocada para todos os tráfegos.

Com base no conjunto de requisitos da função objetivo, o controle de fluxo é determinado e baseado na solução ótima esperada. Este processo é atingido quando se consiste em maximizar a função objetivo dada por (4):

$$\max f_{QFC-LTE}(rv_n, ue_n, C_n, rb_n) \quad (4)$$

Considerando este método de controle de fluxo, quando um novo fluxo é estabelecido ocorre um novo mapeamento de QoS entre a eNB e os UEs, otimizando desta forma as aplicações de Vídeo, VoIP e FTP e os fluxos são classificados e escalonados conforme a solução ótima do método proposto.

6. Simulações e Resultados

Para avaliar esse trabalho, foram realizadas simulações conduzidas no módulo LTE, no NS-2 (*Network Simulator 2*), versão 2.33, desenvolvido por [Qiu *et al* 2009]. Para transmissão de vídeos foi utilizado o *framework* Evalvid [Evalvid 2012]. O modelo de topologia simulado para a rede LTE está ilustrado na Figura 1.

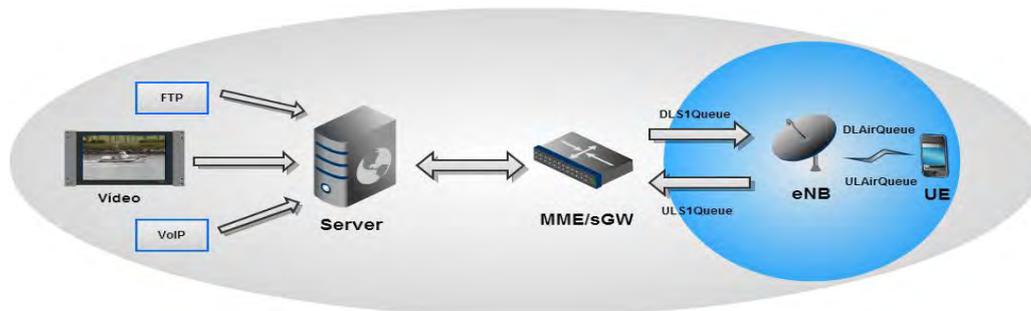


Figura 1. Cenário da Simulação para o sistema LTE.

Na simulação, o fluxo de vídeo utilizado foi o *Coastguard*, taxa de dados de 512 kbps, composto de 596 quadros, resolução de 352 x 288, 30 fps e GoP: 5 e 30. Além das especificações e padrões de vídeo, FTP e VoIP, é apresentada na Tabela 1 os principais parâmetros utilizados na simulação. Os parâmetros mostrados nesta tabela estão relacionados ao ambiente de simulação proposto em [Qiu *et al* 2010]. Além das especificações e padrões de vídeo, FTP e VoIP, a Tabela 1 apresenta os principais parâmetros utilizados na simulação. Os parâmetros mostrados nesta tabela estão relacionados ao ambiente de simulação proposto em [Qiu *et al* 2010].

Tabela 1. Parâmetros de simulação.

Parâmetros	Valor Utilizado
Vídeo	Taxa 512 kbps
Resolução	352 x 288
Total de Quadros	596 quadros
Taxa de Frames	30 fps
GoP	5 e 30
FTP	Taxa 512 kbps
VoIP	Taxa 8 kbps
Tempo de Simulação	19.9 s
Número de Simulações	100
Intervalo de Confiança	95%
Framework de Vídeo	Evalvid
Simulador	NS-2 2.33 e Módulo LTE

Para as métricas coletadas na simulação, utilizou-se um nível de confiança de 95% para análise dos resultados, além de analisar os dados quantitativos das métricas de QoE para PSNR, SSIM e VQM em sua média, desvio padrão e variância.

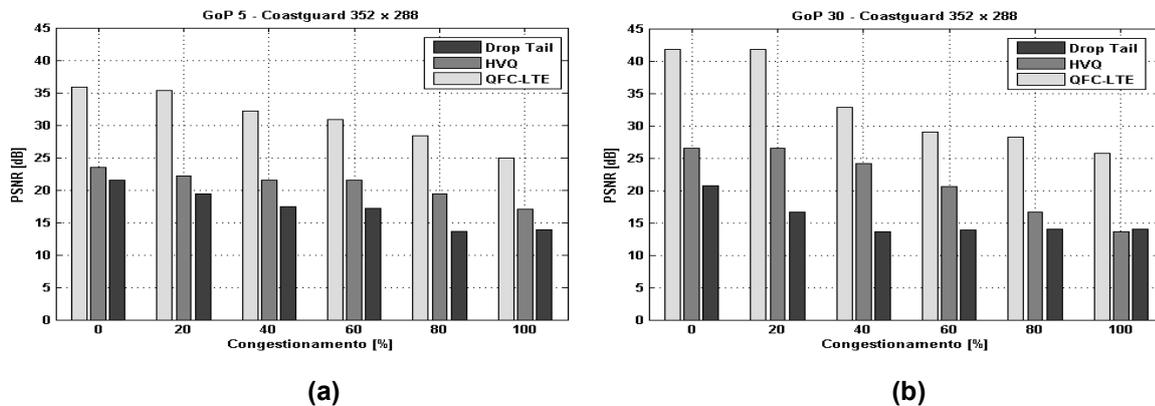


Figura 2. PSNR para fluxo de vídeo *Coastguard* 352 x 288: (a) GoP 5 e (b) GoP 30.

A primeira análise realizada foi quanto a métrica de PSNR, considerando diferentes níveis de congestionamento (0 – 100%) durante o processo de transmissão do vídeo *Coastguard* no sistema LTE, conforme é ilustrado na Figura 2 (a) GoP 5 e Figura 2 (b) GoP 30.

Os resultados demonstram que o controle de fluxo QFC-LTE, entre a eNB e o UE foi mais efetivo que o controle de fluxo *Drop Tail*, apresentando uma excelente qualidade de vídeo, para o QFC-LTE, segundo mapeamento de valores de PSNR para MOS (*Mean Option Score*), Tabela 2 [Piamrat *et al* 2009].

Tabela 2. Mapeamento do PSNR para o MOS.

PSNR (dB)	> 37	31 – 37	25 – 31	20 – 25	< 20
MOS	Excelente (5)	Bom (4)	Regular (3)	Pobre (2)	Péssimo (1)

Para o controle de fluxo proposto QFC-LTE, a qualidade do vídeo apresentou um nível de Bom à Regular para o GoP 5 e de Excelente à Regular para o GoP 30, devido ao mapeamento de QoS entre a eNB e o UE baseado na busca de solução ótima da função objetivo proposta.

Comparando os níveis de PSNR para o GoP 5, Figura 2 (a), o pior caso foi para controle de fluxo *Drop Tail*, a diferença máxima atingiu 52,17% em 80% de congestão, comparado ao melhor caso, QFC-LTE. Para o GoP 30, Figura 2 (b) o nível de PSNR para o QFC-LTE apresentou ganho no melhor caso, de 60,15% em 20 % de congestão comparado ao pior caso para o controle de fluxo *Drop Tail*.

Na segunda análise realizada para o controle de fluxo quanto ao nível da métrica SSIM. A Figura 3 (a) GoP 5 e Figura 3 (b) GoP 30 apresentaram as distribuições dos níveis da métrica SSIM em relação à variação do congestionamento, para os controles de fluxo QFC-LTE, HVQ e *Drop Tail*.

A Figura 4 (a) GoP 5 e Figura 4 (b) GoP 30 é ilustrado as distribuições dos níveis da métrica VQM, para as mesmas condições de congestionamento na rede LTE das métricas anteriores. Os resultados comprovam que o controle de fluxo entre a eNB e o UE, provido pelo QFC-LTE é mais eficaz que os controles HVQ e *Drop Tail*.

Comparando o melhor caso, QFC-LTE com o nível de VQM para o GoP 5, pior caso, *Drop Tail*, a diferença máxima foi de 58,10% sem congestionamento, conforme ilustra a Figura 4 (a). Nota-se que, a partir da congestão de 40%, para o GoP 5, o nível da qualidade de vídeo para a métrica VQM aumenta, comprovando os resultados das métricas anteriores para o controle de fluxo QFC-LTE.

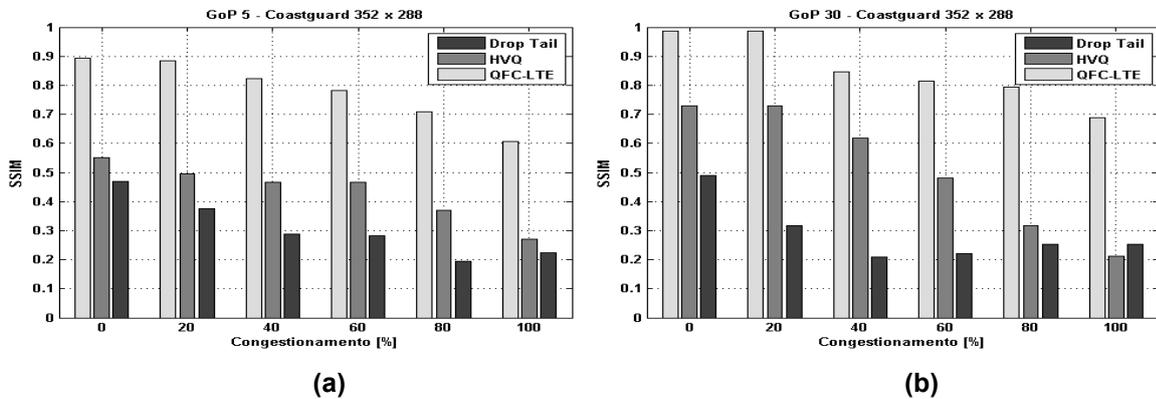


Figura 3. SSIM para fluxo de vídeo *Coastguard* 352 x 288: (a) GoP 5 e (b) GoP 30.

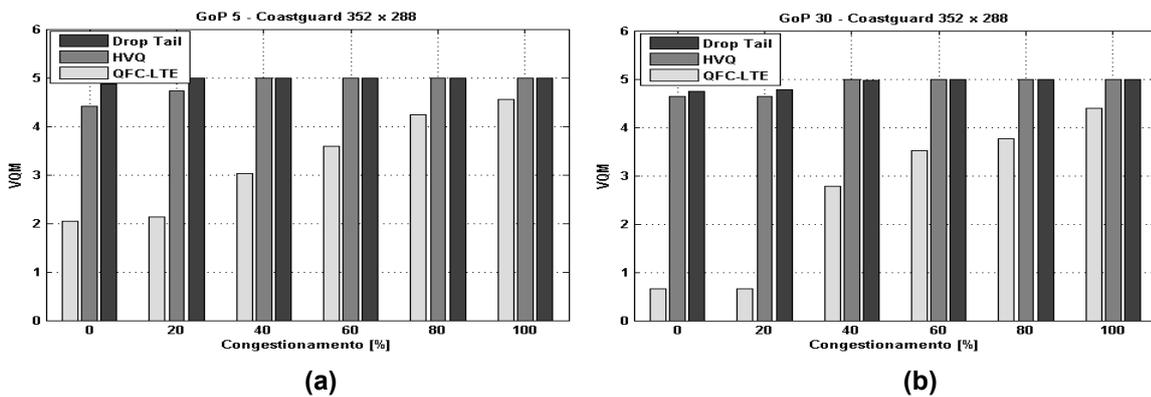
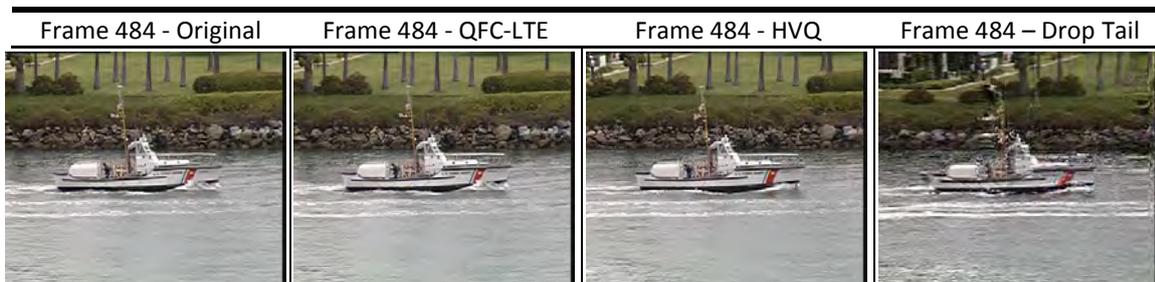


Figura 4. VQM para fluxo de vídeo *Coastguard* 352 x 288: (a) GoP 5 e (b) GoP 30.

Conforme a avaliação do vídeo e para validar a eficácia do controle de fluxo proposto, a Tabela 3 ilustra a sequência de quatro quadros de *frames* do vídeo *Coastguard*, *frame* 484, GoP 5 para 60% de congestionamento. Observa-se que, o vídeo recebido para o controle de fluxo QFC-LTE apresentou melhor qualidade de vídeo no fluxo entre eNB e o UE do sistema LTE.

Tabela 3. Frames do vídeo *Coastguard*, para o GoP 5 e congestão de 60%.



Os valores médios das métricas PSNR, SSIM e VQM para os *frames* da Tabela 3 são apresentados na Tabela 4, congestionamento de 60%, o vídeo recebido de acordo com o controle de fluxo no sistema LTE, para o QFC-LTE, HVQ e *Drop Tail*, GoP 5 apresentam, respectivamente, qualificação do vídeo como Bom, Pobre e Péssimo.

Tabela 4. Resultados das métricas de QoE para GoP 5, congestão em 60%.

	PSNR [dB]	SSIM	VQM	Qualidade
QFC-LTE	31	0,78	3,58	Bom
HVQ	21,45	0,47	5	Pobre
Drop Tail	17,22	0,28	5	Péssimo

A Tabela 5 ilustra a sequência de quatro quadros de *frames* do vídeo *Coastguard*, *frame* 246, GoP 30 para 60% de congestionamento. Verifica-se que os vídeos recebidos para o controle de fluxo *Drop Tail* e HVQ foi bastante degradado. O mesmo não acontece quando o sistema LTE utilizou o controle de fluxo QFC-LTE,

Tabela 5. Frames do vídeo *Coastguard*, para o GoP 30 e congestão de 60%.

Os valores médios das métricas PSNR, SSIM e VQM para os *frames* da Tabela 5 são apresentados na Tabela 6, congestionamento de 60% para o GoP 30, o vídeo recebido de acordo com o controle de fluxo do sistema LTE, para o QFC-LTE, HVQ e *Drop Tail*, apresentam, respectivamente, qualificação do vídeo como Regular, Pobre e Péssimo.

Tabela 6. Resultados das métricas de QoE para GoP 30, congestão em 60%.

	PSNR [dB]	SSIM	VQM	Qualidade
QFC-LTE	29	0,81	3,52	Regular
HVQ	20,64	0,48	5	Pobre
Drop Tail	13,85	0,28	5	Péssimo

Os resultados mostram que, a medida que utilizou-se o controle de fluxo QFC-LTE, a perda de *frames* foi bem menor, apresentando um impacto bem melhor na qualidade do vídeo. O controle de fluxo, aliado ao mapeamento de QoS entre o eNB e o UE, melhorou as métricas de QoE, para o GoP 5 e GoP 30. Isso devido a importância do agrupamento de quadros, além do processo de atualização mais rápida dos *frames*.

7. Conclusões e trabalhos futuros

Observamos que as métricas de QoE para a transmissão de conteúdo multimídia apresentaram melhores níveis para o controle de fluxo QFC-LTE e níveis mais baixos para os controles de fluxo HVQ e *Drop Tail*, devido a maior dependência de pacotes, codificação baixa, capacidade máxima esgotada da política de controle do *Drop Tail* (novos pacotes que chegam são descartados) e da falta de mapeamento de QoS no HVQ. A proposta QFC-LTE aumentou significativamente os níveis de QoE se comparado com os controles de fluxo HVQ e *Drop Tail* para o GoP 30, a porcentagem

máxima, entre o melhor caso, QFC-LTE e o pior caso, *Drop Tail* foi de 86,11% para a métrica VQM, na congestão de 20%.

Para trabalhos futuros, propõe-se um estudo utilizando outras métricas de QoE, entre elas, métricas subjetivas como, por exemplo, o MOS. Propõe-se também, a reformulação do método de controle de fluxo QFC-LTE, para considerar os diferentes valores dos GoPs para provisão de QoE no sistema LTE.

Referências

- Begazo, D., Rodriguez, D. e Ramirez, M. (2011) “Avaliação de Qualidade de Vídeo sobre uma Rede IP usando Métricas Objetivas”, In: Conferência Iberoamericana em Sistema, Cibernética e Informática CИСCI 2011, Orlando, USA, . v. I. p. 226-229.
- McQueen, D. (2009) “The momentum behind LTE adoption” IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 2, pp. 44–45, Feb.
- Rappaport, T. S. (2009) “Comunicações Sem Fio: Princípios e Práticas”, Pearson Prentice Hall, 2ª edição, São Paulo.
- Silva, D., Júnior, J., Coelho, M. e Dias, K. (2010) “Arquitetura Heterogênea com Gerenciamento da QoE e Suporte a Handover Transparente através de um Sistema Fuzzy-Genético”, In: XVI Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídias e Web – 2010, Belo Horizonte, MG.
- Hong, S. and Won, Y. (2010) “Incorporating Packet Semantics in Scheduling of Real-Time Multimedia Streaming”, Multimedia Tool Appl., vol. 46, pp. 463-492, Jan.
- Qiu, Q., Jian, C., Ping, L., and Pan, X. (2010) “Hierarchy Virtual Queue Based Flow Control in LTE/SAE”, Second International Conference on Future Networks ICFN’10, pp. 78 - 82.
- Holma, H. and Toskala, A. (2009) “LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, John Wiley & Sons.
- Rodríguez, D. Z., and Bressan, G. (2012) “Video Quality Assessments on Digital TV and Video Streaming Services Using Objective Metrics”, IEEE Latin America Transactions, vol. 10, n. 1, Jan.
- Xinbo, G., Wen, L., Dacheng, T., and Xuelong, L. (2009) “Image Quality Assessment based on Multiscale Geometric Analysis”, Image Processing, IEEE Transactions on, IEEE, v.18, n.7, pp.1409-1423.
- Gelonch, A., Revés, X., Marojevic, V., Nasreddine, J., Pérez-Romero, J., and Sallent, O. (2010) “A Real Time Emulator Demonstrating Advanced Resource Management Solutions”, Wireless Personal Communications, Springer, v.54, n.1, pp. 123-136.
- Qiu, Q., Jian, C., Ping, L., Zhang, Q., and Pan, X. (2009) “LTE/SAE Model and its Implementation in NS 2”, Fifth International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks MSN’ 09, pp. 299 - 303.
- Evalvid Tool (2012). Disponível em: www.tkn.tu-berlin.de/menue/research/evalvid.
- Piamrat, K., Viho, C., Ksentini, A., and Bonnin, J. (2009) “Quality of Experience Measurements for Video Streaming over Wireless Networks”, Sixth International Conference on Information Technology ITNG 09, pp. 1184 - 1189.