

# Arquitetura com Suporte à Predição de QoE e Mobilidade para Aplicações de Vídeo em Redes Sem Fio Heterogêneas

José Jailton<sup>1</sup>, Tássio Carvalho<sup>1</sup>, Warley Valente<sup>1</sup>, Carlos Natalino<sup>1</sup>, Kelvin Dias<sup>2</sup>, Renato Francês<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Caixa Postal 479 – 66075-110 – Belém – PA – Brasil

<sup>2</sup>Centro de Informática (CIn) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Caixa Postal: 7800 - 50711-970 – Recife – PE – Brasil

{jjj,tassio,warley,cns,rfrances}@ufpa.br, kld@cin.ufpe.br

**Abstract.** *This paper proposes an architecture for next-generation networks to provide wireless heterogeneous access and seamless handover for video applications. The proposal considers different wireless technologies and adopts the IEEE 802.21 standard to assist the integration of heterogeneous networks. The proposal called QoEHand (Quality of Experience Handover) Architecture presents mechanisms to predict quality of experience for the network selection phase based on neural networks, and selective discarding in congestion periods. The proposal is evaluated via simulation using the ns-2 (Network Simulator) and the performance results are presented through the QoE metrics.*

**Resumo.** *Este artigo propõe uma arquitetura para redes da próxima geração capaz de fornecer acesso heterogêneo sem fio e handover transparente para as aplicações de vídeo. A proposta considera diferentes tecnologias sem fio e adota o padrão IEEE 802.21 para auxiliar na integração de redes heterogêneas. A Arquitetura proposta denominada de QoEHand (Quality of Experience Handover) apresenta mecanismos de predição de Qualidade de Experiência baseada em Redes Neurais Artificiais que será o parâmetro a decisão de handover, e mecanismo de descarte seletivo de pacotes específico para aplicações multimídia. A proposta é avaliada via simulação utilizando-se o ns-2 (Network Simulator) e os resultados de desempenho são apresentados através das métricas de QoE.*

## 1. Introdução

Um dos desafios na concepção das redes da próxima geração consiste no desenvolvimento de arquiteturas que viabilizem a continuidade do serviço através do suporte adequado à Qualidade de Experiência (QoE) para aplicações multimídia e que proporcionem sempre a melhor conectividade (*Always Best Connectivity - ABC*) aos usuários móveis. Várias são as denominações adotadas para esta rede, como 4G (*Fourth Generation*), NGN (*Next Generation Networks*), ou Internet do Futuro (*Future Internet*). Há um consenso de que em qualquer que seja a denominação, o acesso será heterogêneo (PONTES, 2008).

Diversas tecnologias atualmente fornecem suporte à Qualidade de Serviço (QoS), porém não há garantias que em um ambiente heterogêneo seja possível manter a qualidade dos serviços à medida que o usuário troca de rede devido a sua mobilidade. E também não há garantias de suporte adequado à Qualidade de Experiência para aplicações multimídia( KASSAR, 2008).

Devido à necessidade da conectividade transparente para os usuários, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) desenvolveu e aprovou o novo padrão IEEE 802.21 ou MIH (*Media Independent Handover*). O MIH foi projetado para integrar e gerenciar a mobilidade entre redes sem fio de diferentes tecnologias, bem como para permitir o *handover* horizontal e vertical (*handover* entre tecnologias diferentes( HU K,2010). Contudo, o MIH é apenas um *framework* com gatilhos e sinalização que não provê nenhuma inteligência para a tomada de decisão/seleção de rede levando em consideração a conectividade, o tipo de aplicação, o perfil do usuário e etc.

A arquitetura denominada QoEHand (*Quality of Experience Handover*) provê suporte a mobilidade em redes heterogêneas baseado em predição de QoE, a arquitetura monitorará as transmissões de vídeo para estimar a qualidade do vídeo em tempo real. As tecnologias de acesso possuirão classes de serviço específicas para as aplicações multimídia, assim conforme o usuário se deslocar de uma rede para outra, a arquitetura oferecerá a classe de serviço específica para transmissão de vídeo com o intuito de manter a qualidade.

Além da predição de QoE com mapeamento entre tecnologias diferentes, haverá situações em que o usuário móvel não terá uma rede alternativa para migrar e conseqüentemente a rede que o usuário se encontra no momento conectado não poderá oferecer o melhor serviço para o mesmo, nessa situação a arquitetura QoEHand também disponibilizará o serviço de Adaptação de QoE, pois em situações de congestionamento será necessário descartar os pacotes menos importantes da transmissão de vídeo para recuperar a qualidade.

De maneira geral, a Arquitetura QoEHand realiza o mapeamento das aplicações multimídias quando o usuário migrar para uma nova rede. O usuário migrará para uma nova rede, quando a mesma oferecer melhores condições do que a atual rede em que o usuário se encontra, essa decisão de migrar será decidido com base no monitoramento de QoE. A arquitetura também poderá garantir a qualidade do vídeo através do descarte seletivo de pacotes caso o usuário permaneça na atual rede.

O artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 descreve os trabalhos relacionados. Na seção 3a arquitetura QoEHand é discutida, apresentando os mecanismos propostos. A avaliação e resultados finais é apresentada na Seção 4. A Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros e a Seção 6 as referências bibliográficas.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Esta seção descreve trabalhos relacionados encontrados na literatura. Os trabalhos que também abordam sobre gerenciamento/mapeamento em Redes Sem Fio Heterogêneas e que também ressaltam a importância das métricas de QoE como novo parâmetro de decisão nas novas arquiteturas.

Uma proposta com melhorias de QoE baseado na estrutura tridimensional do vídeo é descrita em (Keimel et al,2011). A proposta considera uma sequência de frames como um cubo e analisa características como, largura, comprimento e altura dos frames para determinar a qualidade do vídeo. Porém, a proposta não apresenta nenhuma solução de adaptação ou mapeamento de vídeo e nenhum gerenciamento de mobilidade heterogênea para as aplicações multimídias.

Um framework com um esquema de escalonamento que aloca recursos em redes heterogêneas é apresentado em (Liang et al, 2011). Mas este escalonador apenas considera métricas de QoS como atraso, perda, disponibilidade da rede. Além disso, o artigo não apresenta nenhuma solução de gerenciamento de mobilidade de *handover* vertical e não considera nenhuma métrica de QoE no escalonador.

Os desafios para otimizar QoE em redes da próxima geração é discutido em (Jingjing et al, 2011). O artigo explica a importância do gerenciamento de QoE nas novas arquiteturas, porém não apresenta nenhuma solução para os desafios da Internet do Futuro. Diferentemente do artigo aqui apresentado que, além de discutir, também apresenta soluções para que a escolha da conexão seja baseada em métricas de QoE.

A importância da utilização das métricas de QoE como parâmetro na tomada de decisão nas novas arquiteturas de rede é discutido no (Brooks, 2010). O artigo introduz como as novas arquiteturas devem ser desenvolvidas para dar suporte a QoE, apresentando soluções, como monitorar as aplicações de vídeos para estimar a qualidade, porém não aborda situações de congestionamento na rede e nem mesmo considera o *handover* como uma alternativa de obter melhores condições de conexão.

O uso de um buffer específico para as aplicações multimídias é demonstrado em (ParandehGheibi et al, 2011). A proposta assume a chegada de pacotes de acordo com o processo de independente de Poisson. A proposta monitora a chegada de pacotes para determinar o tempo de saída do mesmo. Mas a solução não considera a dependência e hierarquia que existe entre os frames e, conseqüentemente, não utiliza adaptação de QoE através do descarte seletivo de frames.

O artigo (Cherif et al, 2011) explica a importância do monitoramento de QoE nas novas arquiteturas e por isso utiliza o PSQA (*PseudoSubjectiveQualityAssessment*) baseado em redes neurais que faz o mapeamento da avaliação subjetiva do usuário as condições de transmissão da rede com base em atraso, vazão. Diferente da proposta aqui apresentada que leva em consideração na rede neural características específicas de vídeos como frames I, P e B e que faz o mapeamento da qualidade do vídeo com base além da avaliação subjetiva do usuário com métricas objetivas SSIM e VQM.

### **3. Qualidade de Experiência para Handover Heterogêneo**

A Arquitetura QoE Hand que possui as seguintes características: o Mecanismo de QoE Híbrido que realiza a medição de QoE em tempo real durante a transmissão, fator que será usado pela arquitetura na tomada de decisão de *handover*. O Mapeamento QoE Heterogêneo, que viabiliza manter a qualidade da aplicação multimídia mesmo após o *handover* para outra tecnologia. E o mecanismo de Adaptação de QoE, para que em situações de congestionamento a aplicação multimídia não seja degradada.

#### **3.1 QoE Híbrido**

O QoE Híbrido estima a qualidade do vídeo aproximado da percepção visual humana em tempo real permitindo uma melhor adaptação das aplicações multimídias nas diversas tecnologias da arquitetura.

A implementação do QoE Híbrido leva em consideração diversos parâmetros, como o tipo de vídeo, o codec que está sendo utilizado e até mesmo as características da rede no momento. A finalidade destes parâmetros é detectar os níveis de degradação em uma aplicação multimídia em determinadas condições de rede. Quando o mecanismo aponta para um alto nível de degradação é recomendado que o usuário móvel troque de rede ou que seja ativado o mecanismo de descarte seletivo.

O padrão *Moving Picture Experts Group* (MPEG) define três tipos de frames: o frame I (*Intra-coded*), o frame P (*Predictive-coded*) e o frame B (*Bi-directionally predictive-coded*). O índice de porcentagem de perdas dos frames I,P,B mais o índice de perdas de frames geral foram adotados como parâmetros de entrada do mecanismo de QoE Híbrido. Além disso, um outro importante fator que impacta diretamente na composição do vídeo é o *Group of Picture* (GoP), que define a quantidade de frames que sucedem dois frames I. O comprimento do GoP também é um outro parâmetro levado em consideração no mecanismo.

O mecanismo de QoE Híbrido é um estimador em tempo real baseado em aprendizado via Rede Neural. Esses parâmetros importantes para o mecanismo são avaliados em uma rede neural que através do aprendizado faz uma estimação do MOS (*Mean Opinion Score*).

O principal fundamento da utilização de uma rede neural é a capacidade de aprendizado em um determinado ambiente. O aprendizado é interativo, o aprendizado ocorre conforme as mudanças no ambiente. Desta forma, a rede neural melhora o desempenho da arquitetura, pois através da previsão feita pela rede neural que a QoE Hand se baseia na tomada de decisão.

A rede neural é composta por entrada-saída, uma lista de atributos, parâmetros representam a evolução dos eventos na arquitetura, através de um conjunto de parâmetros é possível prever o comportamento final. A Figura 1 apresenta o mecanismo.

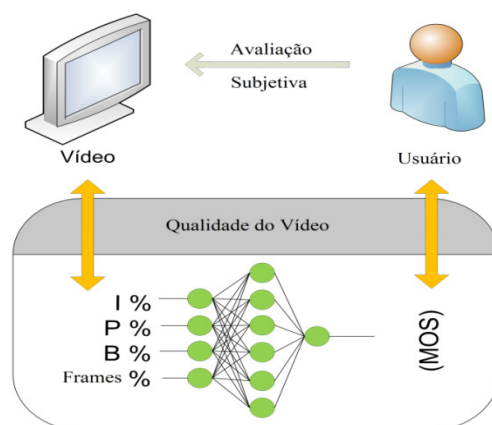


Figura 1 – QoE

Híbrido

O modelo de rede neural utilizado é a função não-linear de multivariáveis (um vetor  $\{x\}$  recebe o conjunto de parâmetros de entrada para gerar um vetor de saída  $\{y\}$  controlado por um vetor de pesos ajustáveis  $\{w\}$ ). Utilizando os parâmetros de entrada

com o intuito de oferecer sempre o melhor ambiente de conexão para usuário móvel, a rede neural vai aprendendo com cada mudança/evento que venha ocorrer na arquitetura. Coletando os dados em tempo real a rede neural é capaz de estimar qual a qualidade do vídeo que está sendo apresentado para o usuário.

Cada entrada será armazenada no vetor  $\{x\}$ , cada entrada passará por um modelo matemática em 3 camadas até obter um resultado final. Cada entrada é “refinada” por pesos  $\{w\}$  nas diversas camadas. Cada camada gera uma saída que serve de entrada para a camada seguinte. A fórmula (1) a seguir exhibe o cálculo para cada camada:

$$h_i^{(m)} = [w_i^{(m)}]x^{(m)} = \sum_{k=1}^M (w_{ik}^{(m)} \cdot x^{(m)}) \quad (1)$$

Onde:

- W: Peso de entrada para cada camada
- X: Parâmetro de Entrada
- M: Número da Camada

Para obter o melhor resultado, uma rede neural tem que passar por um período de treinamento, nesse período de treinamento 100 simulações foram realizadas variando o nível de congestionamento para que um histórico de aprendizado fosse composto. A cada instante a rede neural é “alimentada” com os parâmetros de entrada e comparando com as informações adquiridas no treinamento a rede neural é capaz de prever o comportamento do ambiente de transmissão com base nas características de momento da arquitetura.

### 3.2 Mapeamento de QoE

A integração do MIH (padrão 802.21) com as tecnologias de acesso WiMAX (padrão 802.16e) e Wi-Fi (padrão 802.11e) é demonstrado na Figura 2, na qual podemos observar a arquitetura interna do nó móvel interagindo com a camada MAC das tecnologias WiMAX e Wi-Fi com seus respectivos mecanismos para diferenciação e priorização de tráfego no acesso ao meio.

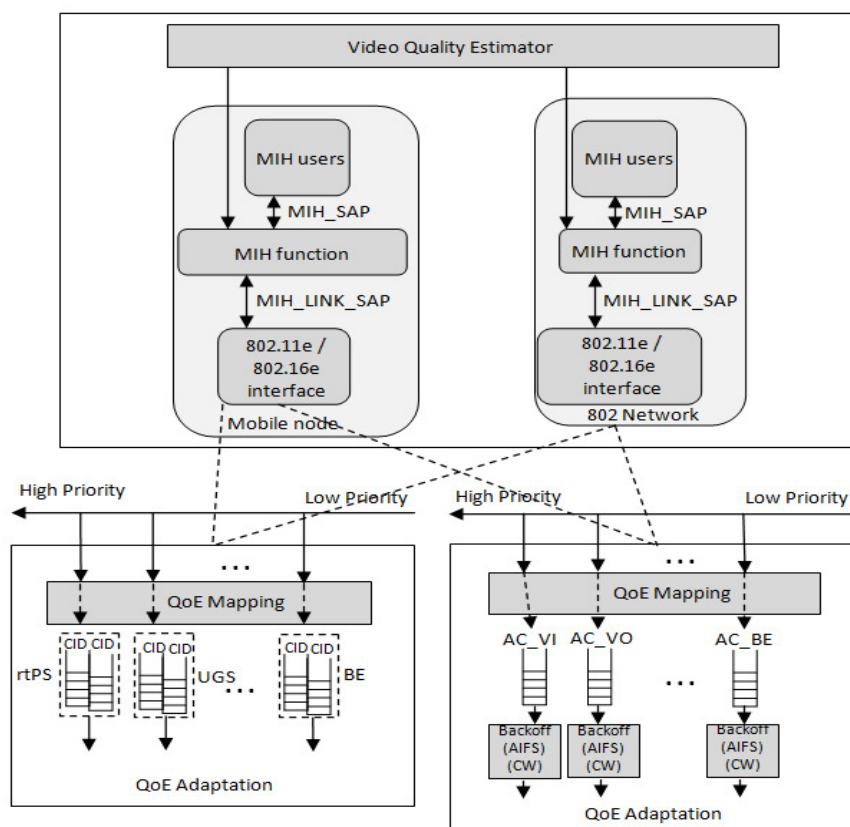


Figura 2 – Arquitetura geral para mapeamento de QoS.

A integração das tecnologias gera um ambiente heterogêneo, usuários móveis com múltiplas interfaces (WiMAX e Wi-Fi), com suporte a mobilidade vertical transparente e garantia de QoE.

Desta forma, fluxos de serviços (vídeos) provenientes das camadas superiores, sejam de um dispositivo móvel ou de uma rede 802, são classificados para uma classe de serviço correspondente para UGS, rtPS ou BE (caso estejam ou tenham feito *handover* com a interface WiMAX ativa) na camada MAC. Conforme o tipo de fluxo e seus requisitos de QoE, estes são em seguida escalonados, ou no sentido *uplink* (UL-MAP), ou no sentido *downlink* (DL-MAP) para então receberem concessões da BS e assim ter prioridades no acesso ao meio.

Caso o usuário móvel tenha feito *handover* para a área de cobertura Wi-Fi e com a interface Wi-Fi ativa, os fluxos são mapeados para ACs (AC\_VO, AC\_VI ou AC\_BE). Cada AC possui parâmetros particulares de AIFS,  $CW_{Max}$ ,  $CW_{Min}$  e TxOP, fluxos de serviços associados terão diferentes prioridades no acesso ao meio.

É através do MIH\_LINK\_SAP que os parâmetros de QoS da camada MAC é repassado para as camadas superiores das tecnologias, no QoEHand o MIH\_LINK\_SAP também repassará os parâmetros de QoE para as camadas superiores. A integração permite a classificação e escalonamento de fluxos entre as camadas superiores e inferiores, e também permite garantir QoE nas tecnologias IEEE 802.11e e IEEE 802.16e. O usuário móvel escolherá uma tecnologia e arquitetura QoEHand oferecerá uma classe de serviço disponível, normalmente a arquitetura sempre que

possível tentará oferecer a classe de serviço com alta prioridade para as aplicações multimídias.

### 3.3 Adaptação QoE

O Mecanismo de Adaptação de QoE é importante para manter a qualidade do vídeo aceitável em situações de congestionamento da rede e quando não houver nenhuma rede vizinha disponível no momento. O mecanismo de adaptação de QoE é ativado de acordo com o MOS estimado pelo mecanismo de QoE Híbrido e considera principalmente o tamanho do GoP, pois a adaptação ocorre através do descarte seletivo de frames para obter uma melhor qualidade, dessa forma é necessário verificar a importância e a dependência entre os frames conforme mostrado na Figura 3.

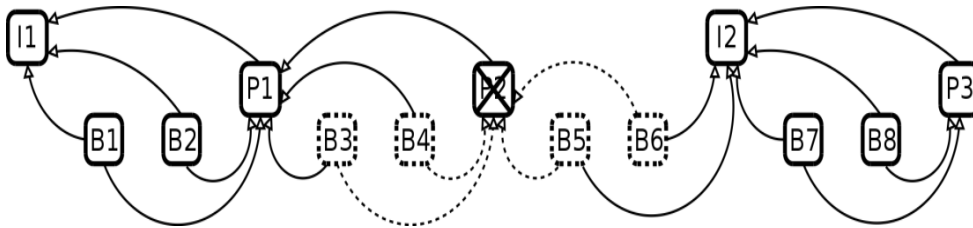


Figura3 – Interdependência entre os frames

O mecanismo de Adaptação de QoE considera a importância de cada frame. Se a fila estiver cheia, primeiramente o mecanismo descartará o frame B, se a fila continuar congestionada o mecanismo descartará o frame P, e um último caso se a fila continuar cheia o mecanismo descartará o frame I. O Algoritmo genérico do mecanismo é demonstrado na Tabela 1 a seguir.

01	ifqueue.is_not_full():
02	queue.enqueue(packet)
03	else:
04	ifhas_broken_dependences(packet):
05	drop(packet)
06	else:
07	packet_to_remove= queue.get_frame_with_broken_dependences()
08	ifpacket_to_remove:
09	queue.drop(packet_to_remove)
10	queue.enqueue(packet)
11	else: drop(packet)

Tabela 1 – Algoritmo Genérico de Adaptação de QoE

#### 4. Resultados

O cenário utilizado na avaliação da arquitetura é demonstrado na Figura 4, os usuários móveis podem começar a conexão tanto na rede IEEE 802.16e quanto na rede IEEE 802.11e, e devido à mobilidade dos usuários pode ocorrer *handover*. A transmissão de vídeo é feita através da ferramenta Evalvid Tool (Evalvid, 2011).

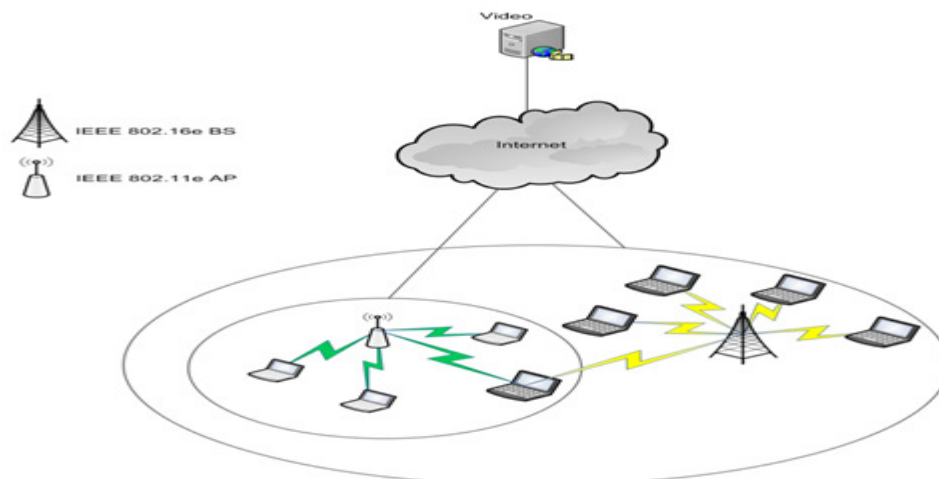


Figura 4 – Cenário de Avaliação

Os parâmetros configurados para as simulações em ambas as tecnologias são descritos na Tabela 2 a seguir. Foram adicionados à simulação 50 usuários móveis que transitavam na rede heterogênea e consequentemente realizando *handover* vertical.

	<b>802.11e</b>	<b>802.16e</b>
Taxa de Transmissão	11 Mbps	75 Mbps
Área de Cobertura	50 m	1000 m
Escalonador	EDCA	Round Robin (RR)
Vídeo	Resolução: 176 x 144 Taxa de Frames: 30 frames/s Modo de Cor: Y, U, V	
Fila	Drop Tail (40 ms delay)	
Tamanho do Pacote	1052 bytes	
Fragmentação Máxima do Pacote	1024 bytes	
Tempo de Simulação	100 segundos	
Número de Simulações	100	
Intervalo de Confiança	95 %	
Número de usuários	50	

Tabela2 – Parâmetros de Simulação

Os parâmetros de configuração da Rede Neural são demonstrados na Tabela 2, levando em consideração que a rede neural tem quatro parâmetros de entrada: Perda geral de frames, perda de frames I, perda de frames P e perdas de frame B, e tem como saída o MOS do vídeo seguindo as condições de perda da entrada. Tais parâmetros



foram obtidos através do teste de várias redes neurais com diferentes topologias e configurações, sendo que esta foi a que apresentou maior acurácia nos resultados.

Taxa de aprendizado	0,075
Taxa de Impulso	0,15
Critério de Treinamento de Erro	0,01
Número de máximo de gerações	10000
Número Total de Padrões de Treinamento	100
Número de Camadas	3
Número de Padrão	100
Número de Entradas	4
Número de Saídas	1

Tabela 2 – Parâmetros de simulação para Rede Neural

A Figura 5 mostra os resultados do percentual de frames perdidos conforme os níveis de congestionamento aumentam. A arquitetura QoEHand utiliza tal informação adquirida pela rede neural para ativar o mapeamento/adaptação correto para uma classe de serviço de acordo com a tecnologia e os recursos disponíveis no momento e também para ativar o descarte seletivo de pacotes.

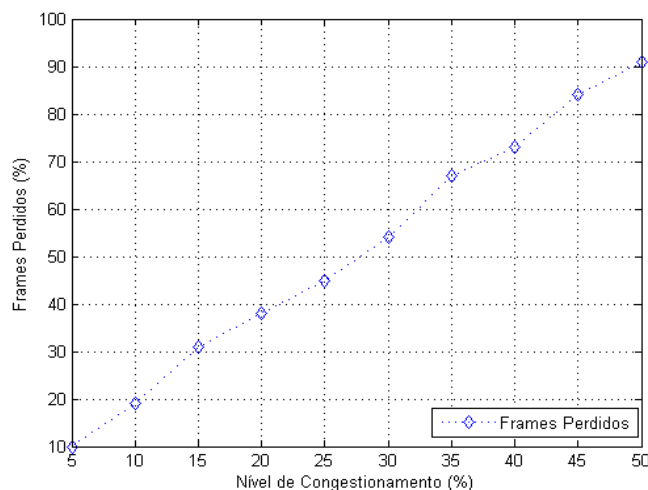


Figura 5 – Frames Perdidos x Congestionamento

As simulações têm como objetivo demonstrar os benefícios que o QoEHand proporciona em termos de qualidade de experiência. Quatro perfis foram configurados para demonstrar tais benefícios: (1) MIH Puro: sem a configuração da QoEHand; (2) QoEHand Completo: Quando há recursos suficientes para que o mapeamento das aplicações seja feita para as devidas classes de serviços corretamente; (3) QoEHand Parcial: Quando a arquitetura não pode oferecer a melhor classe de serviço para a

aplicação, uma classe de serviço alternativa é oferecida; (4)QoEHand Descarte: O descarte de pacote seletivo de acordo com a ordem de importância dos frames.

Haverá situações que o QoEHand não poderá oferecer a melhor classe de serviço para uma aplicação de vídeo, devido a uma situação de congestionamento da na rede atual e a rede vizinha não possuir melhores condições de conexão do que a rede atual.

Em situações desse tipo, a QoEHand oferecerá uma classe de serviço que possui uma escala mais baixo de prioridade que a classe de serviço destino a aplicações de multimídia. O fato de uma aplicação de vídeo estar associada a uma classe de serviço com escala mais baixa pode gerar significativas perdas de pacotes e consequentemente degradar a qualidade de experiência.

O mecanismo de adaptação de qualidade de experiência proposta no QoEHand controlará a chegada dos pacotes de vídeos na fila e, quando necessário, descartará os frames menos importantes que não causam tantos prejuízos na qualidade do vídeo, dessa forma impedindo que o congestionamento na fila. Conforme já explicado anteriormente , o descarte de frames obedece ordem de importância do mesmo.

Os resultados do MOS mostram que o QoEhand garante a qualidade do vídeo mesmo em situações de rede congestionada. É possível verificar que quando o nível de congestionamento atinge 15% já causa bastante impacto na aplicação multimídia, sendo importante o descarte seletivo a partir desse ponto. Com o MIH Puro a qualidade do vídeo durante as transmissões foi degradado sendo considerada uma aplicação de vídeo de péssima qualidade. O QoEHand\_Descarte através do descarte seletivo de pacotes manteve a qualidade do vídeo boa até com 30% de rede congestionada. O QoEhand\_Parte garantiu uma boa qualidade do vídeo, quando as aplicações multimídias foram mapeadas para classes de serviços menos importantes (UGS - AC\_VO) e descartando os pacotes menos importantes conforme aumentava o nível de congestionamento na rede. O QoEhand\_Completo oferecendo a melhor a classe de serviço (rtPS – AC\_VI) em ambas as redes e descartando os pacotes menos importantes conforme aumentava o nível de congestionamento na rede manteve a qualidade do vídeo como excelente. A Figura 6 exibe os resultados.

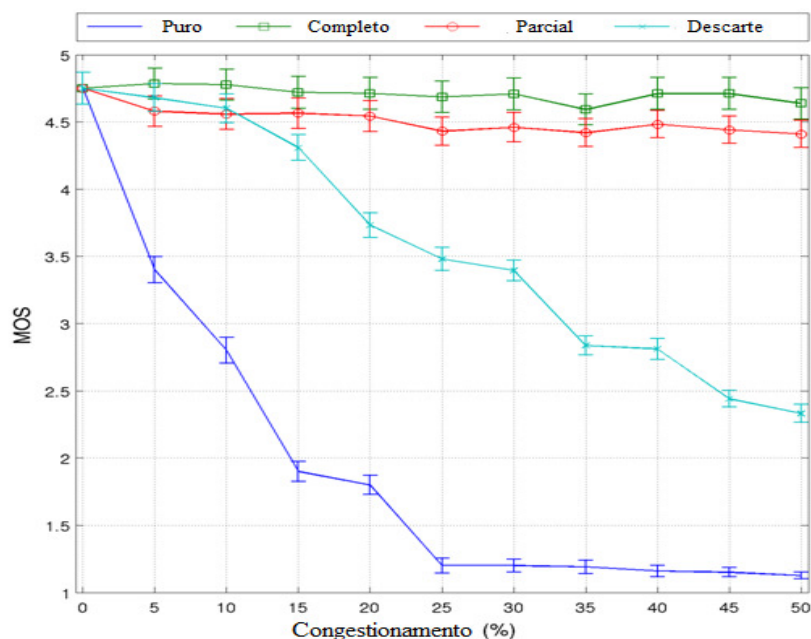


Figura 6 – MOS x Nível de Congestionamento

Além da avaliação de MOS, outro resultado que também comprova os benefícios da arquitetura proposta é a métrica objetiva SSIM. A arquitetura QoEHand obteve uma melhor performance de 40%. A Figura 7 exhibe os resultados para a métrica SSIM.

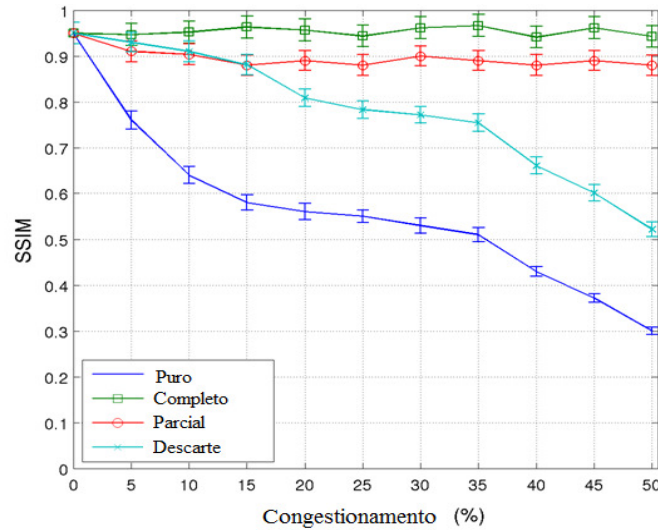


Figura 7– SSIM x Nível de Congestionamento

E a métrica objetiva VQM, considerada mais completa que a métrica SSIM, também comprova o melhor desempenho da arquitetura proposta, mantendo a qualidade das aplicações multimídias. Na métrica VQM, quanto mais próximo o valor de 0, melhor é a qualidade. A Figura 8 exhibe o gráfico com os valores de VQM.

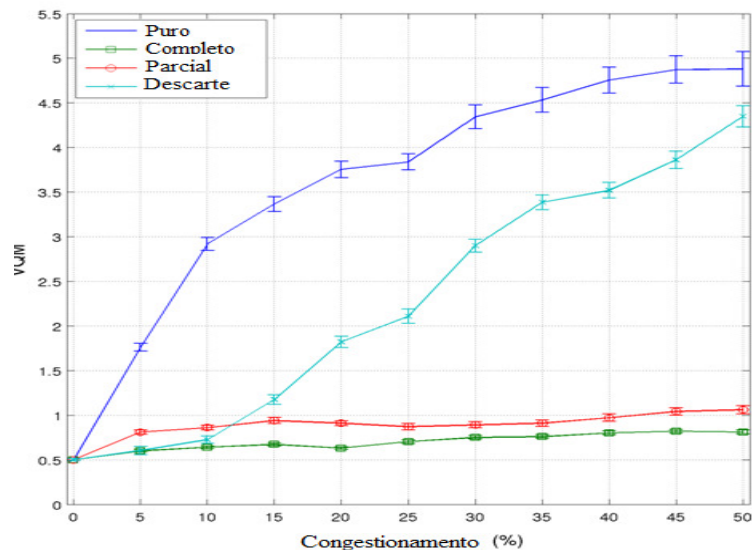


Figura 8 – VQM x Congestionamento

Uma outra análise que também demonstra o ganho da arquitetura são os resultados sobre a distorção de cor e o nível de ruído dos vídeos recebidos. O vídeo recebido sem a configuração da arquitetura QoEHand ativa teve 11.26dB de distorção de cor e apresentou um nível de ruído de 27.8dB, enquanto o vídeo recebido pela arquitetura

QoEHand apresentou 4.8dB de distorção de cor e um nível de ruído de 14.3dB. A Figura 9 exibe o gráfico comparativo.

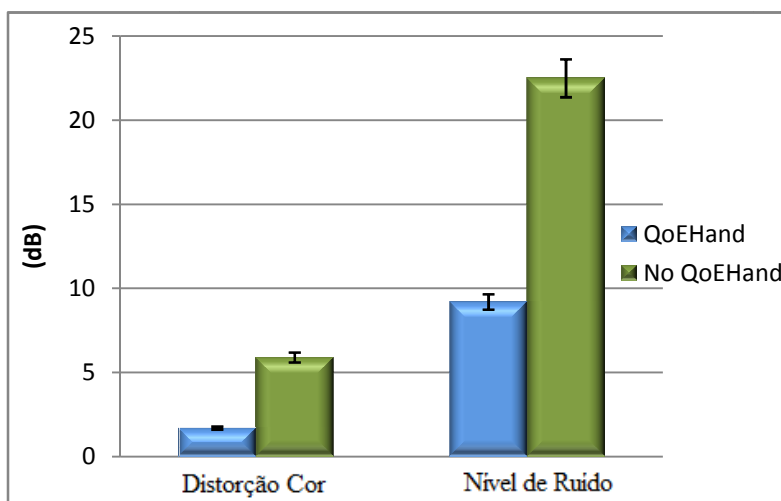


Figura 9 – Distorção de Cor e Nível de Ruído.

O vídeo utilizado nas simulações foi o “Grandmother” que possui 760 frames no formato YUV com dimensão de 352x288, que foi codificado com o MPEG-4 CODEC a uma taxa de 30 frame/s (YUV CIF,2010).

Quando comparamos os frames do vídeo recebido na arquitetura do MIH Puro (sem mapeamento) com os frames do vídeo recebido na arquitetura QoEHand (com mapeamento, adaptação de QoE) é possível verificar visualmente uma melhor qualidade dos frames recebidos no segundo caso. (Figura 10).

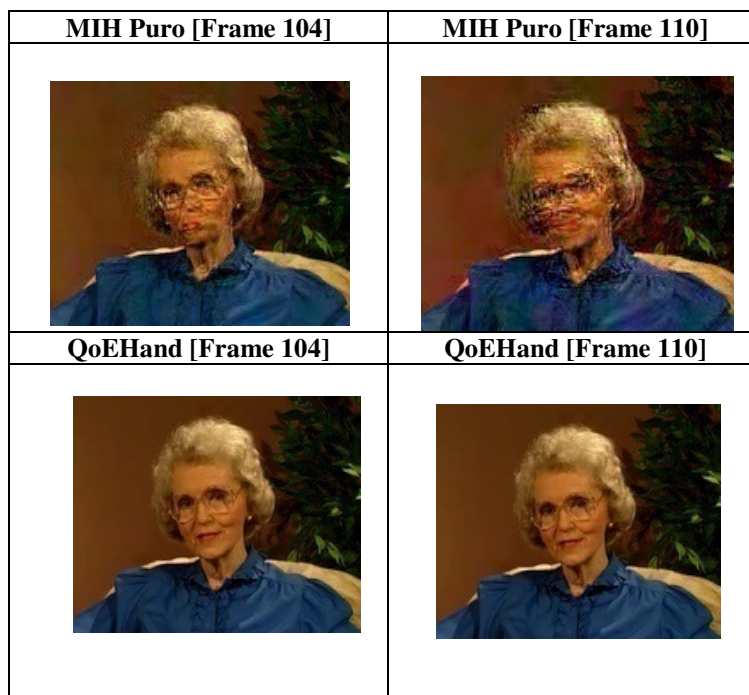


Figura 10 – Frames recebidos com e sem suporte a QoE.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo propõe o desenvolvimento de uma nova arquitetura que provê mapeamento de QoE em redes sem fio heterogêneas e também a mobilidade transparente em ambiente heterogêneo. ArquiteturaQoEHand é formada pela integração das tecnologias IEEE 802.16e e IEEE 802.11e ao padrão IEEE 802.21, com mapeamento de QoE entre classes de serviços em cenário heterogêneo móvel.

As novas arquiteturas para Internet do Futuro devem considerar também avaliações baseadas em métricas de QoE, que expressam precisamente a experiência que o usuário obtém diante de uma aplicação de vídeo real. Por isso que nesta arquitetura foram implementados: o mecanismo de monitoramento e estimação de qualidade de experiência em tempo real através da inteligência computacional rede neural e o mecanismo de adaptação de qualidade de experiência através de descarte seletivo de frames de acordo com a ordem de importância de cada frame.

Para esta arquitetura novas tecnologias poderão ser adicionadas como por exemplo *LongTermEvolution*(LTE), como forma de proporcionar novas alternativas de conexão para os usuários finais.

## 6. Referência

- Brooks, P.; Hestnes, B.(2010) User measures of quality of experience: why being objective and quantitative is important. IEEE Network. Volume: 24 , Issue: 2 Digital Object Identifier: 10.1109/MNET.2010.5430138. , Page(s): 8 - 13
- Cherif, Wael; Ksentini, Adlen; Negru, Daniel; Sidibe, Mamadou. (2011) “A\_PSQA: Efficient real-time video streaming QoE tool in a future media internet context” .2011 IEEE International Conference onMultimedia and Expo (ICME).
- EvalvidTool. <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>.
- HU K.W. et al. (2010) An Intelligent Resource Management Scheme for WiFi and WiMAXHeterogeneous Multi-Hop Relay Networks, Expert Systems with Applications. Elsevier, p. 1134-1142.
- IEEE 802.11e (2005), “Status of Project IEEE 802.11e, MAC Enhancements for Quality of Service,” IEEE Standard, 802.11e.
- IEEE 802.16e-2005 (2005), “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Corrigendum 1”.
- IEEE 802.21-2008 (2008), “Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Media Independent *Handover* Services”. IEEE Standard, P802.21/D11.0.
- Jingjing Zhang; Ansari, N.; (2011) On assuring end-to-end QoE in next generation networks: challenges and a possible solution. IEEE CommunicationsMagazine.Volume: 49 , Issue: 7 . Digital Object Identifier: 10.1109/MCOM.2011.5936172. Page(s): 185 – 191
- KASSAR M. et al. (2008)An Overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks, IEEE Computer Communications 31, p. 2607-2620.

Keimel, C.; Rothbucher, M.; HaoShen; Diepold, K.; (2011) Video is cube. IEEE Signal Processing Magazine. Volume: 28 , Issue: 6 .Digital Object Identifier: 10.1109/MSP.2011.942468 . Page(s): 41 - 49

Liang Zhou; Han-Chieh Chao; Vasilakos, A.V.; (2011) Joint Forensics-Scheduling Strategy for Delay-Sensitive Multimedia Applications over Heterogeneous Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Volume: 29 , Issue: 7. Digital Object Identifier: 10.1109/JSAC.2011.110803 .Page(s): 1358 - 1367

Oliva,A., Banchs, A., Soto,I., Lessmann, J., Niephaus, C. and Melia, T. (2011) “IEEE 802.21: Media Independence beyond Handover”. Computer Standards & Interfaces, March.

ParandehGheibi, A.; Médard, M.; Ozdaglar, A.; Shakkottai, S.; (2011) Avoiding Interruptions — A QoE Reliability Function for Streaming Media Applications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Volume: 29 , Issue: 5 .Digital Object Identifier: 10.1109/JSAC.2011.110516. Page(s): 1064 – 1074.

Pontes, A. B.; Silva, D. P.; Júnior, J.J; Rodrigues, O. P.; Dias, K. L. (2011) Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks, IEEE Wireless Communications, vol. 15, cap. 5, p. 86–95.

Tarng,W., Chen,N. W., Deng,L. Z.,Ou,K. L.,Hsie, K. R. and Chen,M. (2010) “The Integration of Heterogeneous Wireless Networks (IEEE 802.11/IEEE 802.16) and its QoS Analysis”. International Journal of Communication Networks and Information Security, vol. 2, No. 3, December 2010.

The Network Simulator NS-2.<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

YUF CIF. DOI= <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.html>.