



**UM AMBIENTE PARA APOIO À INTEGRAÇÃO
DE REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS**

CLAUDIO DE CASTRO MONTEIRO

**TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM AMBIENTE PARA APOIO À INTEGRAÇÃO
DE REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS**

CLAUDIO DE CASTRO MONTEIRO

Orientador: PROF. DR. PAULO ROBERTO DE LIRA GONDIM, ENE/UNB

TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PUBLICAÇÃO ENE/PG.TD - 056/2012
BRASÍLIA-DF, 13 DE FEVEREIRO DE 2012.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**UM AMBIENTE PARA APOIO À INTEGRAÇÃO
DE REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS**

CLAUDIO DE CASTRO MONTEIRO

TESE DE DOUTORADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Paulo Roberto de Lira Gondim, ENE/UnB
Orientador

Prof. Dr. Renato Mariz de Moraes, ENE/UnB
Examinador interno

Prof. Dr. Díbio Leandro Borges, CIC/UnB
Examinador externo

Prof. Dr. Lisandro Zambenedetti Granville, IC/UFRGS
Examinador externo

Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues, DI/UBI
Examinador Externo

BRASÍLIA, 13 DE FEVEREIRO DE 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

CLAUDIO DE CASTRO MONTEIRO

Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes sem fio Heterogêneas

2012xv, 211p., 201x297 mm

(ENE/FT/UnB, Doutor, Engenharia Elétrica, 2012)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CLAUDIO DE CASTRO MONTEIRO (2012) Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes sem fio Heterogêneas. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação 056/2012, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 211p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Claudio de Castro Monteiro

TÍTULO: Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes sem fio Heterogêneas.

GRAU: Doutor ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de Doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Claudio de Castro Monteiro

Quadra AE 310 Sul, Avenida LO-05. CEP.: 77021-090 - Palmas/TO.

Agradecimentos

Obter o título de doutor sempre foi um dos grandes objetivos de minha vida. Concluí meu mestrado em 1997 e desde lá estou tentando, sem sucesso, realizar este sonho.

No entanto, em agosto de 2007, consegui ser aprovado no programa de doutoramento em engenharia elétrica da UnB, tendo apresentado meu exame de qualificação em 19 de novembro de 2010 e agora apresento minha tese em sua versão final.

Agradeço primeiramente a DEUS e a nossa senhora por terem me dado saúde para ter chegado até aqui.

Ao professor Paulo Roberto de Lira Gondim, que acreditou em mim e no meu potencial desde o início, concordando em me orientar no programa. Seus conselhos acadêmicos e exemplos de vida sempre me inspiraram. Muito obrigado, professor.

À minha esposa Adriana, pela paciência durante minhas longas ausências de casa, tendo sido sempre a principal estrutura de suporte emocional e físico para minha vida e em especial para a realização deste curso. Amor, muito, mas muito obrigado mesmo.

À minha filha Renata, meu amor, minha princezinha. Apenas olhar pra você já carrega minhas baterias. Mesmo sem saber a dimensão de sua ajuda, muito obrigado pelo seu amor e carinho... te amo.

À minha filha Rafaela, meu "tanquinho", cabelinho do pai... você me inspira com suas perguntas e argumentações. Obrigado filha, te amo demais.

À minha mãe, minha querida mãe, o que agradecer a você a não ser a minha vida e toda a minha educação e formação. Você foi e é fundamental em minha vida. Obrigado por sua torcida e seu carinho e por aguentar meu mau humor.

Ao meu pai (in memoriam), agradeço pelos ensinamentos passados durante sua vida. Sei que está orgulhoso, afinal, nunca pensaríamos que eu conseguisse ainda alcançar este sonho. Depois de tanto tropeço, consegui. Sei que o senhor esteve, está e sempre estará ao meu lado. Este trabalho é pra você pai.

Ao meu irmão, grande Sandro... você é um exemplo de personalidade, caráter, honestidade e competência. Estas qualidades, herdadas de nosso pai, sempre nortearam sua vida e me inspiraram. Obrigado por tudo mesmo, inclusive pelo período deste curso em que você me recebeu em sua casa.

À CAPES pela incentivo e financiamento desta pesquisa.

Aos meus amigos da coordenação de informática do IFTO que me liberaram de minhas atividades para a realização deste curso.

Aos meus amigo Igor (irmão camarada) e Alex pelo apoio incondicional durante esta caminhada rumo à conclusão deste curso. Amigos, muito obrigado.

Ao meu amigo Vinícius de Miranda Rios, pelos momentos em que compartilhamos as angústias desta trajetória... você em seu mestrado e eu em meu doutorado. Obrigado de coração, amigo.

Aos amigos de ontem, de hoje e de sempre Helder, Manoel, Mauro, Vaguetti, Silas, Vanice, Lilissanne, Valmiro, Maurício que dividiram e ainda dividem os momentos de dúvidas, certezas, aborrecimentos e alegrias que um curso de mestrado e/ou doutorado proporcionam. A vocês, meu muito obrigado pela amizade, pela companhia, pela presença e pela paciência.

À todo o pessoal do LabRedes, em especial ao grande Wandemberg, que nunca mediu esforços para ajudar a solucionar problemas de infra-estrutura de redes. Sem você, meu amigo, este trabalho teria custado muito mais a ficar pronto. Muito obrigado mesmo pela recepção durante esses quatro anos e 8 meses e pelo carinho, atenção e amizade e mim dispensados.

Não poderia deixar de agradecer a todo o pessoal da secretaria do ENE, em especial a Carla, a Ana e a Vera, por aguentarem pacientemente todos os momentos de angústias que envolveram a reta final deste trabalho e pelo suporte administrativo, sempre tão prestativo.

Resumo

A integração de redes sem fio heterogêneas vem sendo objeto de estudo a algum tempo. Questões voltadas à manutenção da qualidade de serviço fornecida ao móvel durante sua migração entre redes com diferentes tecnologias de acesso, tem sido abordadas levando em consideração formas de alocar e gerenciar recursos de rede, técnicas de controle de admissão de conexões, combinação de tecnologias para selecionar a rede que oferece melhores condições e alternativas para a gerência de mobilidade na camada 3 de redes baseadas no protocolo IP (*Internet Protocol*). No entanto, propôr uma solução integrada que possa resolver todas essas questões é uma tarefa difícil e, sendo assim, pesquisadores frequentemente optam por estudar alguma destas questões e, então, formulam suas propostas baseadas em cenários específicos.

Esses cenários são um ponto importante a ser considerado no caminho de uma solução para a integração de redes sem fio heterogêneas, visto que uma solução, normalmente, não é eficiente em todas as situações e ambientes. Portanto, limitar cenários e variáveis consideradas, antes de caracterizar uma redução do universo do problema, reflete a necessidade de "dividir pra conquistar", comumente conduzindo as propostas de solução a resultados mais eficientes e precisos que, muitas vezes, podem ser utilizados por outros trabalhos, visando a continuação e extensão de seu funcionamento a outros tipos de ambiente.

Sendo assim, esta tese, direciona esforços para encontrar soluções para questões relacionadas ao desafio de integrar redes sem fio heterogêneas, focando toda a pesquisa no sentido de garantir a melhor experiência possível do usuário durante o momento mais crítico da integração: a migração entre redes (o *handover*). Para isso, foi realizado um estudo sobre padrões, arquiteturas, protocolos, qualidade de serviço (QoS) e qualidade de experiência (QoE), analisando em especial os casos de integração entre rede WLAN e 3G, visando verificar o que tem sido usado para vencer tal desafio, atendendo aos padrões de QoS necessários para permitir a mobilidade de sessão e de terminal durante o processo de *handover* vertical (VHO) do móvel, buscando assegurar bons níveis de QoE para o usuário do serviço.

Foram considerados nesta pesquisa os problemas relacionados ao *handover* na camada 3 de redes All-IP, visto que, a intenção da pesquisa foi encontrar soluções viáveis de implementação possível, sem a necessidade de realizar alterações no núcleo das redes envolvidas. Portanto, as soluções aqui apresentadas procuraram centrar suas ações e procedimentos nos problemas de gerência de mobilidade IP e de seleção de redes, além de seus funcionamentos estarem confinados ao dispositivo móvel, facilitando assim, sua implantação e operação em ambientes heterogêneos e

reais.

Assim, neste trabalho são apresentadas duas arquiteturas: O SMIP (*Specialized Mobile IP*) e o QoV-NS (*Quality of Video - Network Selection*). O primeiro é apresentado como uma solução alternativa ao protocolo MIP, para gerência de mobilidade, enquanto que a segunda como uma solução para seleção de redes, baseada na NQM (*Network Quality Metric*), uma métrica também proposta nessa trabalho, que mede a qualidade de uma rede, visando verificar a sua aptidão para a transmissão de um determinado tipo de tráfego (no caso desta tese, tráfego de vídeo). O trabalho valida experimentalmente as duas soluções de forma estática, comparando-as com algumas das soluções apresentadas na literatura, concluindo com a validação das propostas em um ambiente dinâmico, com deslocamento real do móvel, usando a integração das duas propostas em um ambiente chamado de AMAM (Ambiente de Mobilidade Assistido pelo Móvel).

Abstract

The integration of heterogeneous wireless networks has been the subject of study for some time. Questions focused on maintaining quality of service provided to the mobile during their handover between networks with different access technologies has been addressed considering ways to allocate and manage network resources, techniques for admission control of connections, combination of technologies to select the network offering the best conditions and alternatives for management of mobility in the layer 3 in networks based on IP protocol (*Internet Protocol*). However, it is difficult to propose an integrated solution that can solve all these issues and, therefore, researchers often choose to study some of these issues and they, then, formulate their proposals based on specific scenarios.

These scenarios are a relevant point to be considered in order to find a solution to the integration of heterogeneous wireless networks, since a solution is usually not effective in all situations and environments. So, limiting scenarios and considered variables before characterizing a reduction in the universe of the problem reflects the need "to divide to conquer", commonly leading the proposed solution to more efficient and accurate results that can be often used by other work, aiming at the continuation and extension of its operation to other types of environment.

Thus, this thesis directs efforts to find solutions to issues related to the challenge of integrating heterogeneous wireless networks, focusing on all the research to ensure the best user's experience as much as possible during the most critical moment of integration: the handover between networks (*handover*). For this, a study was conducted on standards, architectures, protocols, quality of service (QoS) and quality of experience (QoE), in particular examining the cases of integration between WLAN and 3G, aiming to identify what has been used to overcome such a challenge, given the QoS standards required to allow both the session and the terminal mobility during the textit handover vertical (VHO) process of the mobile, seeking to ensure good levels of QoE for the service user.

In this study, the problems related to *handover* in the layer 3 in ALL-IP networks were considered, since the intent of the research was to find viable solutions to possible implementation, without the need to make changes to the core of the involved networks. Therefore, the solutions presented here sought to focus their actions and procedures on the problems of IP mobility management and selection of networks, besides their workings are confined to the mobile device, thereby facilitating their implementation and operation in heterogeneous and real environments.

Thus, this paper presents two architectures: The S-MIP (Specialized Mobile IP) and QoV-NS

(Quality of Video - Network Selection). The first is presented as an alternative solution to the MIP protocol for mobility management, while the second features as a solution to network selection based on NQM (Network Quality Metric), a metric also proposed in this work, which measures the quality of a network, in order to verify their suitability for the transmission of a certain type of traffic (in the case of this thesis, video traffic). The paper experimentally validates the two solutions in a static way, comparing them with some of the solutions presented in the literature, concluding with the validation of applications in a dynamic environment with real displacement of the mobile, using the integration of both S-MIP and QoV-NS in a MEAM (Mobility Environment Assisted by Mobile) environment.

Trabalhos Produzidos

Durante os quatro anos desta pesquisa, alguns trabalhos foram produzidos, visando relatar resultados intermediários alcançados. Abaixo estão relacionados estes trabalhos, que formam a história da pesquisa apresentada nesta tese.

Trabalhos Publicados em Congressos e Periódicos Internacionais

1. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. and Campos, M. and Pereira, H. C. (2009). Implementação de um Settop Box Virtual para Desenvolvimento e Testes de Aplicações para TV Digital Interativa. *Information and Telecommunication Technologies Symposium, I2TS*.
2. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2009). Improving video quality in 802.11 networks. *28th IEEE international conference on Computer Communications. Mobile Video Delivery Workshop* (pp. 188-193).
3. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2010). An Alternative QoS Architecture for Integrating WLAN/3G Networks. *The Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications - ICWMC 2010*.
4. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2010). A Solution for Seamless Video Delivery in WLAN/3G Networks. *Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies - UBICOMM 2010*.
5. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2010). Improving Video Quality for Handover between Legacy MIPv4 Overlay Networks. *9th International Information and Telecommunication Technologies Symposium - I2TS 2010. December 13-15, 2010 – Rio de Janeiro, Brazil*.
6. Albuquerque, S. A., Gondim, P. R. L., Monteiro, C. C. (2010). Aspectos de Segurança na Interconexão de Redes Celulares e WLANs. Minicurso apresentado no SBSeg no dia 15 de outubro de 2010.

7. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. and Rios, V. M. (2010). Seamless Video Session Handoff between WLANs. *HINDAWI International Journal on Computer System and Networking*, 2010(2010), 36-46.
8. Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2011). Video Quality Guarantee to Mobile Users Across WLAN/3G Networks. *13th International Conference on Advanced Communication Technology - ICACT 2011. January, 2011 – Phoenix Park, Korea.*

Trabalhos Submetidos a Periódicos e Aguardando Avaliação

9. Monteiro, C. C., Gondim, P. R. L. (2011). A Solution for the Network Selection Based on Mobile. Submetido à ELSEVIER Computer Communications em outubro/2011. Elsevier. CAPES QUALIS A2.
10. Monteiro, C. C., Gondim, P. R. L. (2011). Improving MIP Latency in Wireless Heterogeneous Network Environment. Submetido à ELSEVIER Computer Network em novembro/2011. CAPES QUALIS A1.
11. Monteiro, C. C., Gondim, P. R. L. (2011). A Mobility Manager Framework for Heterogeneous Wireless Network Environment. Submetido à IEEE Communications Letters em novembro/2011. CAPES QUALIS A1.

Abaixo segue uma tabela com a relação de trabalhos publicados (e submetidos para publicação), informando quais os capítulos desta tese seus resultados ajudaram a construir.

Capítulo	Trabalhos que Contribuíram para o Capítulo
Capítulo 3	3, 4, 5, 6, 7, 10
Capítulo 4	2, 4, 5, 6, 7, 9
Capítulo 5	2, 3, 4, 5, 6, 7, 11

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	HIPÓTESE GERAL DA PESQUISA	2
1.2	METODOLOGIA USADA NA PESQUISA.....	3
1.3	HIPÓTESE PARA O PROBLEMA 1	3
1.4	ABORDAGEM PARA O PROBLEMA 1	3
1.5	HIPÓTESE PARA O PROBLEMA 2	4
1.6	ABORDAGEM PARA O PROBLEMA 2	4
1.7	CONTRIBUIÇÕES DESTA TESE.....	4
1.8	ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	5
2	OPÇÕES TECNOLÓGICAS PARA A INTEGRAÇÃO DE REDES.....	7
2.1	INTRODUÇÃO	7
2.2	DESAFIOS DA MOBILIDADE	7
2.3	PROTOCOLOS E TECNOLOGIAS DE INTEGRAÇÃO DE REDES HETEROGÊNEAS	10
2.3.1	IP MÓVEL: MIP	11
2.3.2	MIH (<i>Media Independent Handover</i>).....	18
2.3.3	IMS (<i>IP Multimedia Subsystem</i>)	21
2.4	QUALIDADE DE SERVIÇO NA INTEGRAÇÃO ENTRE REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS	24
2.5	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	29
3	O MIP ESPECIALIZADO - SMIP.....	30
3.1	INTRODUÇÃO	30
3.2	ANÁLISE DA LATÊNCIA MIP.....	31
3.3	ARQUITETURA SMIP	37
3.4	FUNCIONAMENTO E ANÁLISE DA LATÊNCIA SMIP	41
3.5	ANÁLISE DA PERDA DE PACOTES NA SINALIZAÇÃO SMIP	53
3.6	TESTES E RESULTADOS COM SMIP	54
3.6.1	RESULTADO NUMÉRICO	54
3.6.2	RESULTADO EXPERIMENTAL.....	56
3.7	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	58
4	SOLUÇÃO PARA SELEÇÃO DE REDES	60

4.1	INTRODUÇÃO	60
4.2	TRABALHOS RELACIONADOS	62
4.3	MÉTRICA PROPOSTA	63
4.3.1	COMPOSIÇÃO DA MÉTRICA	64
4.4	ARQUITETURA DO QOV-NS.....	101
4.5	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA PROPOSTA	104
4.5.1	AMBIENTE	104
4.5.2	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA NQM.....	108
4.5.3	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA NQM	108
4.5.4	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO QOV-NS	115
4.5.5	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO QOV-NS	116
4.6	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	120
5	AMBIENTE DE MOBILIDADE ASSISTIDA PELO MÓVEL - AMAM.....	121
5.1	INTRODUÇÃO	121
5.2	ARQUITETURA AMAM	121
5.2.1	FUNCIONAMENTO.....	123
5.3	TESTE E RESULTADOS	124
5.3.1	AMBIENTE	124
5.3.2	METODOLOGIA.....	128
5.3.3	RESULTADOS	130
5.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	137
6	CONCLUSÕES E CONTINUAÇÃO DO TRABALHO	138
6.1	TRABALHOS FUTUROS	140
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178

LISTA DE FIGURAS

1.1	Resumo das contribuições da tese	5
2.1	Fases do <i>handover</i>	9
2.2	Possibilidade de uso de pilha MIP	11
2.3	Comunicação utilizando o MIP	12
2.4	Classificação dos Trabalhos sobre MIP	13
3.1	Ambiente usado por [Kong et al. 2008b]	32
3.2	Ambiente usado por [Fathi et al. 2009]	36
3.3	Sinalização MIP	38
3.4	Sinalização SMIP.....	39
3.5	Funcionamento SMIP	42
3.6	Cenário de Funcionamento SMIP	43
3.7	Sinalização SMIP.....	46
3.8	Sinalização MIPv4	47
3.9	Sinalização MIPv6	48
3.10	Sinalização HMIPv6.....	49
3.11	Sinalização FMIPv6 Preditivo.....	50
3.12	Sinalização FMIPv6 Reativo	51
3.13	Sinalização PMIPv6	52
3.14	atraso das variações MIP e do SMIP.....	55
3.15	Ambiente Experimental SMIP.....	56
3.16	Análise do atraso SMIP (Experimental x Numérico	57
3.17	atrasos das variações MIP e do SMIP no Ambiente IPv6	58
4.1	Saída do comando "ping-c 10"no sistema operacional GNU Linux	66
4.2	Saída do comando "traceroute"no sistema operacional GNU Linux.....	67
4.3	Estrutura da Bancada de Testes	68
4.4	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 1.....	72
4.5	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 2.....	74
4.6	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 3.....	75
4.7	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 4.....	77
4.8	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 5.....	78
4.9	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 6.....	80

4.10	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 7.....	81
4.11	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 8.....	83
4.12	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 9.....	84
4.13	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 10.....	85
4.14	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 11.....	86
4.15	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 12.....	87
4.16	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 13.....	88
4.17	Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 14.....	89
4.18	Resumo do atraso e do jitter medidos durante os 14 grupos.....	90
4.19	Resumo da perda de datagramas durante os 14 grupos.....	91
4.20	IC para média do Atraso nos Grupo 1 a 14.....	93
4.21	IC para média do Jitter nos Grupo 1 a 14.....	93
4.22	IC para média da Perda nos Grupo 1 a 14.....	94
4.23	IC para média do PSNR nos Grupo 1 a 14.....	94
4.24	Arquitetura QoV-NS.....	102
4.25	Fluxo de Operação do QoV-NS.....	103
4.26	Trajectoria interna definida para testes do QoV-NS (visão ampla).....	104
4.27	Trajectoria interna definida para testes do QoV-NS (visão específica).....	105
4.28	Trajectoria externa definida para testes do QoV-NS.....	105
4.29	NQM x PSNR no PC-01.....	109
4.30	NQM x PSNR no PC-02.....	109
4.31	NQM x PSNR no PC-03.....	110
4.32	NQM x PSNR no PC-04.....	110
4.33	NQM x PSNR no PC-05.....	111
4.34	NQM x PSNR no PC-06.....	111
4.35	NQM x PSNR no PC-07.....	112
4.36	NQM x PSNR no PCE-01.....	112
4.37	NQM x PSNR no PCE-02.....	113
4.38	NQM x PSNR no PCE-03.....	113
4.39	NQM x PSNR no PCE-04.....	114
4.40	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09.....	114
4.41	Resultado da Aplicação do QoV-NS.....	117
4.42	Resultado da Aplicação do QoV-NS.....	117
4.43	Trocas de rede sugeridas pelo QoV-NS no ponto PC-07.....	119
4.44	Trocas de rede sugeridas pelo QoV-NS no ponto PCE-04.....	119
5.1	Arquitetura AMAM.....	122
5.2	Funcionamento AMAM.....	124
5.3	Trajectoria 1 definida para testes do AMAM (Em rosa).....	125
5.4	Trajectoria 2 definida para testes do AMAM (Em rosa).....	125
5.5	AMAM: ensaio 1.....	131

5.6	AMAM: ensaio 2	132
5.7	AMAM: ensaio 3	133
5.8	AMAM: ensaio 4	134
5.9	Resumo da Quantidade de <i>Handovers</i> por Ensaio.....	135
5.10	Resumo dos Tempos Médios dos <i>Handovers</i> por Ensaio	136
6.1	NQM x PSNR no PC-01	141
6.2	NQM x PSNR no PC-02.....	142
6.3	NQM x PSNR no PC-03.....	142
6.4	NQM x PSNR no PC-04.....	143
6.5	NQM x PSNR no PC-05.....	143
6.6	NQM x PSNR no PC-06.....	144
6.7	NQM x PSNR no PC-07.....	144
6.8	NQM x PSNR no PCE-01.....	145
6.9	NQM x PSNR no PCE-02.....	145
6.10	NQM x PSNR no PCE-03.....	146
6.11	NQM x PSNR no PCE-04.....	146
6.12	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	147
6.13	NQM x PSNR no PC-01	147
6.14	NQM x PSNR no PC-02.....	148
6.15	NQM x PSNR no PC-03.....	148
6.16	NQM x PSNR no PC-04.....	149
6.17	NQM x PSNR no PC-05.....	149
6.18	NQM x PSNR no PC-06.....	150
6.19	NQM x PSNR no PC-07.....	150
6.20	NQM x PSNR no PCE-01.....	151
6.21	NQM x PSNR no PCE-02.....	151
6.22	NQM x PSNR no PCE-03.....	152
6.23	NQM x PSNR no PCE-04.....	152
6.24	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	153
6.25	NQM x PSNR no PC-01	153
6.26	NQM x PSNR no PC-02.....	154
6.27	NQM x PSNR no PC-03.....	154
6.28	NQM x PSNR no PC-04.....	155
6.29	NQM x PSNR no PC-05.....	155
6.30	NQM x PSNR no PC-06.....	156
6.31	NQM x PSNR no PC-07.....	156
6.32	NQM x PSNR no PCE-01.....	157
6.33	NQM x PSNR no PCE-02.....	157
6.34	NQM x PSNR no PCE-03.....	158
6.35	NQM x PSNR no PCE-04.....	158

6.36	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	159
6.37	NQM x PSNR no PC-01	159
6.38	NQM x PSNR no PC-02	160
6.39	NQM x PSNR no PC-03	160
6.40	NQM x PSNR no PC-04	161
6.41	NQM x PSNR no PC-05	161
6.42	NQM x PSNR no PC-06	162
6.43	NQM x PSNR no PC-07	162
6.44	NQM x PSNR no PCE-01	163
6.45	NQM x PSNR no PCE-02	163
6.46	NQM x PSNR no PCE-03	164
6.47	NQM x PSNR no PCE-04	164
6.48	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	165
6.49	NQM x PSNR no PC-01	166
6.50	NQM x PSNR no PC-02	166
6.51	NQM x PSNR no PC-03	167
6.52	NQM x PSNR no PC-04	167
6.53	NQM x PSNR no PC-05	168
6.54	NQM x PSNR no PC-06	168
6.55	NQM x PSNR no PC-07	169
6.56	NQM x PSNR no PCE-01	169
6.57	NQM x PSNR no PCE-02	170
6.58	NQM x PSNR no PCE-03	170
6.59	NQM x PSNR no PCE-04	171
6.60	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	171
6.61	NQM x PSNR no PC-01	172
6.62	NQM x PSNR no PC-02	172
6.63	NQM x PSNR no PC-03	173
6.64	NQM x PSNR no PC-04	173
6.65	NQM x PSNR no PC-05	174
6.66	NQM x PSNR no PC-06	174
6.67	NQM x PSNR no PC-07	175
6.68	NQM x PSNR no PCE-01	175
6.69	NQM x PSNR no PCE-02	176
6.70	NQM x PSNR no PCE-03	176
6.71	NQM x PSNR no PCE-04	177
6.72	NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09	177

LISTA DE TABELAS

4.1	Lista of <i>softwares</i> usados nos testes.....	68
4.2	Resumo dos Grupos de Teste	69
4.3	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 01	72
4.4	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 02	73
4.5	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 03	75
4.6	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 04	77
4.7	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 05	79
4.8	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 06	80
4.9	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 07	82
4.10	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 08	83
4.11	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 09	84
4.12	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 10	85
4.13	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 11	86
4.14	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 12	87
4.15	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 13	88
4.16	Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 14	89
4.17	Valores de IC para a média de atraso, jitter, perda e PSNR	92
4.18	Tabela com a posição geográfica de cada ponto usado nos testes.....	106
4.19	Tabela com as distâncias (em metros) entre AP/BTS e cada ponto de coleta interno.	107

4.20	Tabela com as distâncias (em metros) entre AP/BTS e cada ponto de coleta externo	107
5.1	Tabela com a posição geográfica de cada ponto usado nos testes.....	126
5.2	Tabela com as distâncias (em metros) do entre AP/BTS e cada ponto de coleta interno	127
5.3	Tabela com as distâncias (em metros) o entre AP/BTS e cada ponto de coleta externo	127

Lista de Termos e Siglas

AMAM	<i>Ambiente de Mobilidade Assistida pelo Móvel</i>
AR	<i>Access Router</i>
BU	<i>Bind Update</i>
CAC	<i>Connection Admission Control</i>
CoA	<i>Care-of-Address</i>
CSCF	<i>Call Session Control Functions</i>
FHMIP	<i>Fast Hierarquical MIP</i>
FHMIPv6	<i>FHMIP version 6</i>
FMIP	<i>Fast MIP</i>
FMIPv6	<i>FMIP version 6</i>
HA	<i>Home Address</i>
HHO	<i>Horizontal Handover</i>
HMIP	<i>Hierarquical MIP</i>
HMIPv6	<i>HMIP version 6</i>
HSS	<i>Home Subscriber Server</i>
I-CSCF	<i>Interrogating CSCF</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv4	<i>IP version 4</i>
IPv6	<i>IP version 6</i>
IS	<i>Information Server</i>

LCoA	<i>Local CoA</i>
LMA	<i>Local Mobility Anchor</i>
MAG	<i>Mobile Access Anchor</i>
MAHO	<i>Mobile Assisted Handover</i>
MCHO	<i>Mobile Controlled Handover</i>
MICS	<i>Media Independent Command Service</i>
MIES	<i>Media Independent Event Service</i>
MIH	<i>Media Independent Handover</i>
MIHF	<i>MIH Function</i>
MIIS	<i>Media Independent Information Service</i>
MIP	<i>Mobile IP</i>
MIPv4	<i>Mobile IP version 4</i>
MIPv6	<i>MIP version 6</i>
NAHO	<i>Network Assited Handover</i>
NAT	<i>Network Address Translation</i>
NCHO	<i>Network Controlled Handover</i>
NGMN	<i>Next Generation Mobile Network</i>
NQM	<i>Network Quality Metric</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
P-CSCF	<i>Proxy CSCF</i>
PMIP	<i>Proxy MIP</i>
PMIPv6	<i>PMIP version 6</i>
PoA	<i>Ponto de Acesso</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QoV-NS	<i>Quality of Video-Network Selection</i>
RAC	<i>Route Admission Control</i>

RAT	<i>Radio Access Technologies</i>
RCoA	<i>Regional CoA</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>
S-CSCF	<i>Serving CSCF</i>
SAP	<i>Service Access Points</i>
SIP	<i>Session Information Protocol</i>
SMIP	<i>Specialized MIP</i>
SVHO	<i>Soft Vertical Handover</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunicatios System</i>
VHO	<i>Vertical Handover</i>
WLAN	<i>Wileress Local Area Network</i>

Lista de Variáveis

$L_{FMIP-pre}$	<i>Latência FMIP Preditivo</i>
$L_{FMIP-rea}$	<i>Latência FMIP Reativo</i>
L_{HMIPv6}	<i>Latência HMIPv6</i>
L_{HO}	<i>Latência do Handover</i>
L_{MIPv4}	<i>Latência do MIPv4</i>
L_{MIPv6}	<i>Latência do MIPv6</i>
L_{PMIP}	<i>Latência PMIP</i>
L_{SMIP}	<i>Latência do SMIP</i>
t_1	<i>Delay entre o HA e (FA/MAP/LMA/AR/MAG/NAR) via Internet</i>
t_2	<i>Delay entre o CN e o HA</i>
T_{AAA}	<i>Delay de Autenticação</i>
t_{ac}	<i>Delay entre AR (HMIP)/MAP (PMIP) e o CN</i>
t_{ah}	<i>Delay entre AR (HMIP)/MAP (PMIP) e o HA</i>
t_{am}	<i>Delay entre o AR e o MAP ou entre o MAG e o LMA</i>
t_{bn}	<i>Delay entre a BTS e o núcleo da rede visitada (FA/MAP/LMA/AR/MAG/NAR)</i>
T_{CCoA}	<i>Delay para configuração de CoA</i>
T_{CCoA}	<i>Delay para configuração de endereço</i>
t_{hc}	<i>Delay entre o HA e o CN (no caso do MIP)</i>
t_{ma}	<i>Delay entre o móvel e o AP WLAN</i>
t_{mb}	<i>Delay entre o móvel e a BTS 3G da rede visitada</i>
T_{DM}	<i>Delay para detecção de movimento</i>
t_{mr}	<i>Delay entre o móvel e o AP (os APs) que gera(am) a RAN</i>
T_{OR}	<i>Delay para Otimização de Roteamento</i>
t_{ra}	<i>Delay entre a RAN e o AR ou entre a RAN e o MAG</i>
T_{REG}	<i>Delay para atualização de localização</i>
T_{RHA}	<i>Delay para registro no HA</i>

Capítulo 1

Introdução

Uma Rede Móvel de Próxima Geração, **NGMN**, (*Next Generation Mobile Network*) pode ser vista essencialmente como um grupo de redes móveis heterogêneas sobrepostas ou não, que trabalham de forma integrada ([Munasinghe 2008], [Lim et al. 2009]). A integração destas tecnologias diferentes pode permitir ao usuário a livre movimentação entre essas redes, possibilitando:

- A habilidade para a restauração das exigências de largura de banda para aplicações de tempo real;
- O provisionamento de mobilidade global e portabilidade de serviços;
- A comutação de pacotes, com os sistemas de telecomunicações convergentes, baseada totalmente no protocolo IP;
- A implantação de serviços ubíquos que exijam altos valores de qualidade de serviço (QoS);
- O provisionamento da melhor conectividade para o usuário.

Com a crescente demanda por serviços que exigem o atendimento de severos requisitos de QoS de rede, como as aplicações de voz e vídeo, somada à exigência de ubiquidade nos acessos a esses serviços, a questão da gerência de mobilidade de sessão e de terminal entre redes **sem fio** heterogêneas, com o objetivo específico de manter a continuidade dos serviços oferecidos ao usuário após sua migração de uma rede para outra, tem se apresentado como um desafio a ser vencido.

Esse desafio reflete diretamente na qualidade dos serviços entregues aos usuários durante sua movimentação entre redes **sem fio** heterogêneas em busca, sempre, de uma melhor condição de acesso.

Mostrar caminhos para vencer esse desafio é a grande motivação desta tese. No entanto, para abordá-lo, na tentativa de apresentá-lo de forma clara e didática, o mesmo foi dividido em dois problemas fundamentais a serem solucionados. Eles são apresentados separadamente, com a análise das soluções mais recentes para cada um. Ao final desta tese, a integração das soluções para cada

problema é apresentada, com a hipótese de que, ao integrá-las, uma direção para vencer o desafio proposto estará disponível.

Desta forma, nesta tese, foi abordado o desafio de manter as conexões ativas para usuários em movimento entre redes sem fio heterogêneas, com foco nas questões ligadas com o gerenciamento de mobilidade em seu momento mais crítico: a migração entre redes (*handover* inter redes, doravante denominado simplesmente como *handover*).

Foram considerados casos onde os terminais são multimodo e estão fisicamente conectados às redes envolvidas, efetuando, sempre que possível, migrações sem desconexões abruptas (*soft handovers*) entre as redes disponíveis, levando em consideração a manutenção da qualidade de experiência (QoE) do usuário na recepção dos serviços solicitados.

Desta forma, o desafio desta tese pode ser definido como:

”Buscar garantir um nível de QoS e de QoE satisfatório para os usuários móveis entre redes WLAN e 3G, durante e após sua movimentação de uma rede para outra.”

Assim, este desafio foi abordado através do estudo de dois problemas relacionados ao contexto de mobilidade:

1. A gerência de mobilidade IP, que vem sendo implementada por intermédio de protocolos como o MIP (*Mobile Internet Protocol*) e o SIP (*Session Initiation Protocol*), no que tange à tendência de operação sobre IP da maioria das redes. Questões envolvidas, principalmente com o desempenho das implementações desses protocolos, têm sido bastante consideradas em estudos recentes ([Kara 2009], [Lixin et al. 2010]), levando a crer que boa parte da latência de conexões durante a migração entre uma rede e outra é consequência desses protocolos.
2. A garantia de QoS na integração entre redes **sem fio** heterogêneas. Este problema tem sido abordado normalmente através de mecanismos integrados de Seleção de Redes, Controle de Admissão e Alocação/Escalonamento de Recursos. No entanto, para alcançar uma solução viável e possível de implementação para o desafio proposto, este problema foi abordado levando em consideração apenas aspectos envolvidos com a seleção de redes, totalmente baseada no móvel.

1.1 Hipótese geral da pesquisa

Soluções na camada de rede podem ser integradas em um ambiente, de implementação e implantação viáveis, capazes de vencer, em determinadas condições, o desafio proposto nesta tese.

1.2 Metodologia usada na pesquisa

Esta tese apresentou a definição de um desafio complexo, que tem sido alvo de muito estudo e para o qual foram apresentadas muitas soluções. Para abordar este desafio, este trabalho procurou identificar caminhos possíveis para que propostas de soluções pudessem ser alcançadas, dentro dos limites operacionais impostos. O primeiro ponto definido foi que as soluções propostas precisariam produzir ferramentas com possibilidades reais de implementação e implantação. Isso fez com que fossem geradas premissas importantes para o trabalho:

- Primeira: O controle do núcleo da rede é possível apenas nas redes WLAN envolvidas no ambiente de integração. As demais redes são tratadas como caixas pretas, sob as quais não existe controle;
- Segunda: A decisão sobre qual rede utilizar em determinado momento é totalmente centrada no móvel;
- Terceira: O móvel deve possuir múltiplas *interfaces* de comunicação aérea, sendo caracterizado como um terminal multimodo;
- Quarta: As redes envolvidas na integração devem utilizar, na camada 3, o protocolo IP (*Internet Protocol*);
- Quinta: As questões envolvidas com a gerência de mobilidade foram tratadas em nível de camada 3, com a necessidade do móvel controlar os procedimentos de conexão envolvendo as camadas inferiores (1 e 2), disponibilizando a conexão até a camada 3, pronta para a atuação das soluções.

Sendo assim, com a finalidade de verificar a hipótese geral, foram montados cenários específicos para estudar cada problema, implementando e validando, de forma experimental, cada solução. Com os experimentos referentes às soluções propostas para cada problema concluídos, estas soluções foram integradas em um único ambiente, para serem validadas, em cenários onde foram consideradas variáveis associadas ao deslocamento real do móvel.

1.3 Hipótese para o problema 1

É possível reduzir o tempo de desconexão durante o *handover* vertical do móvel, com base em modificações do protocolo MIP.

1.4 Abordagem para o problema 1

- Estudar o comportamento do MIP e de suas variações, com o suporte ao IPv4 e ao IPv6 nos cenários definidos no problema 1;

- Verificar o comportamento do MIP com suporte a gatilhos baseados em dados das camadas inferiores e superiores, propondo alterações no protocolo (propor SMIP);
- Comparar os resultados do SMIP com algumas das soluções encontradas na literatura, em função da latência imputada ao processo de *handover*.

1.5 Hipótese para o problema 2

A construção de um mecanismo de seleção de redes baseado em camada 3, e que considere informações sobre a qualidade das conexões experimentadas pelo usuário, mapeadas em função da qualidade de serviço das redes envolvidas, aumenta a possibilidade do usuário ter a continuidade das conexões ativas garantida após o *handover* vertical.

1.6 Abordagem para o problema 2

- Estudar a influência das métricas de qualidade de rede na qualidade de experiência experimentada por usuários durante o acesso a seus serviços;
- Propôr uma solução de seleção de redes baseada nas variáveis qualidade de serviço das redes disponíveis para o móvel;
- Avaliar a solução proposta, com soluções usando *WLAN-First* e MIH (*Media Independent Handover*).

Diante disto, com base nas propostas recentes encontradas na literatura, um estudo de cada um destes problemas será realizado, gerando uma classificação, de acordo com o padrão tecnológico usado na solução.

1.7 Contribuições desta Tese

As principais contribuições desta tese são:

1. Proposta de um protocolo (SMIP), baseado no MIP (**M**obile IP), capaz de reduzir a latência causada pela gerência de mobilidade na camada 3;
2. Apresentação de uma métrica (NQM) para medir a qualidade de uma rede, com base no tipo de tráfego utilizado pelo usuário;
3. Proposta de uma arquitetura para seleção de redes, baseada na métrica NQM, que é utilizada como gatilho para os processos referentes ao SMIP (QoV-NS);

4. Proposta de um Ambiente de Mobilidade Assistido pelo Móvel (AMAM), capaz de integrar SMIP e QoV-NS, fornecendo ao usuário a QoE e a QoS necessárias para manter a continuidade de suas conexões durante a migração entre redes sem fio heterogêneas.

Um resumo destas contribuições pode ser visualizado na figura 1.1, onde estão o desafio, os dois problemas com as suas respectivas propostas de solução e a validação final realizada com a proposta do AMAM.

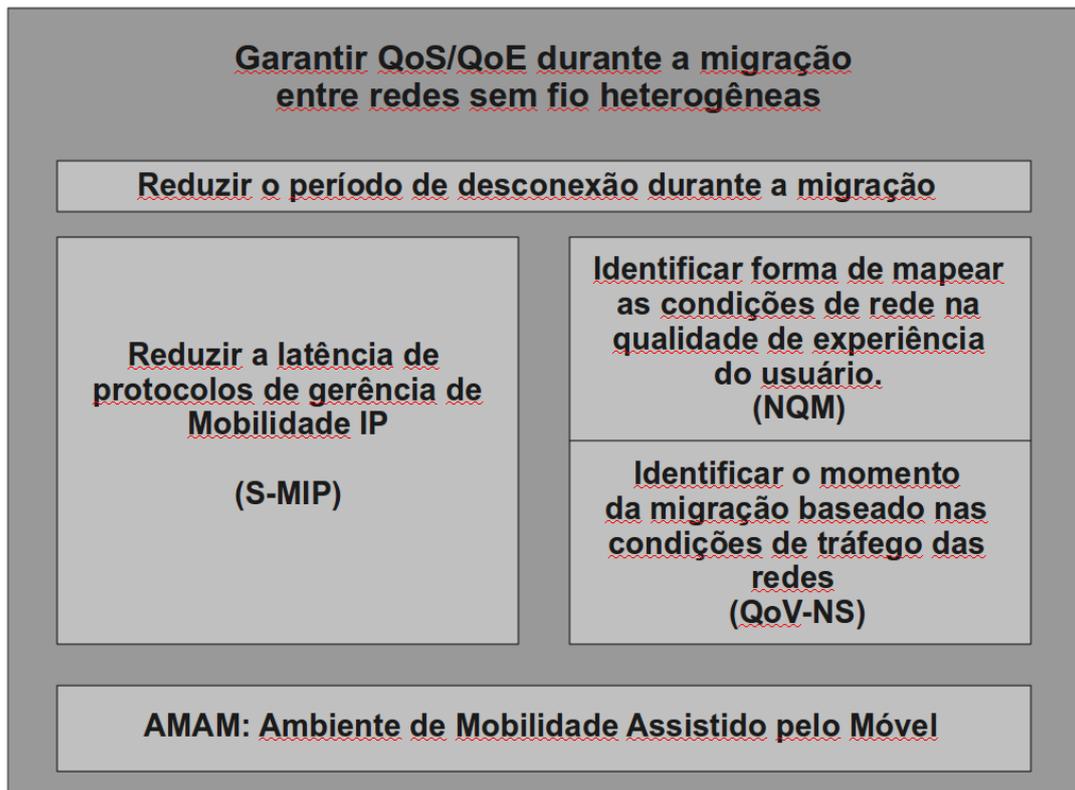


Figura 1.1: Resumo das contribuições da tese

1.8 Organização da Tese

O restante da tese está assim dividido. No capítulo 2 são apresentadas as principais opções tecnológicas usadas para permitir a integração de redes heterogêneas, com a inclusão de discussões sobre o processo de *handover* e técnicas de QoS usadas nesta integração.

No capítulo 3, é apresentada uma solução para o problema 1: o SMIP (*Specialized Mobile IP*). Neste capítulo, algumas das principais soluções adotadas para solucionar este problema são descritas e comparadas entre si, com o objetivo de ressaltar os aspectos de inovação do SMIP.

No capítulo 4, uma solução para o problema 2 é apresentada: o QoV-NS (*Quality of Video-Network Selection*). Assim como no anterior, neste capítulo também são apresentadas as princi-

país soluções para o problema, propostas na literatura, numa tentativa de mostrar as vantagens que o QoV-NS oferece sobre as mesmas. Além disso, para dar suporte ao funcionamento do QoV-NS, a NQM (*Network Quality Metric*), uma métrica para medir a qualidade de uma rede baseada em IP, é apresentada, analisada e validada experimentalmente.

No capítulo 5, é apresentado o AMAM (Ambiente de Mobilidade Assistida pelo Móvel), um ambiente que integra as soluções dos dois capítulos precedentes, detalhando seu funcionamento. Os resultados do seu emprego são mostrados, discutidos e validados em um ambiente real de redes em produção, onde foram considerandos diferentes tipos de velocidade do móvel.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as reflexões finais sobre o desenvolvimento e resultados do trabalho, apontando possíveis desdobramentos do mesmo em trabalhos futuros.

Capítulo 2

Opções Tecnológicas para a Integração de Redes

2.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as principais opções tecnológicas utilizadas para a integração de redes sem fio heterogêneas, ressaltando seus conceitos, funcionamento e aplicações. O que se pretende é apresentar ao leitor alguns dos principais conceitos destas tecnologias, com o objetivo de subsidiar as escolhas feitas durante este trabalho, na direção de resolver os problemas propostos.

2.2 Desafios da Mobilidade

A continuidade de conexão em redes sem fio móveis vem se tornando uma necessidade de usuários que, cada vez mais, exigem ubiquidade em seus acessos a serviços considerados críticos (voz e vídeo). As redes celulares têm sido uma opção importante neste cenário, considerando sua evolução e seu recente suporte a serviços comutados por pacotes e a altas taxas de transmissão.

Por outro lado, redes sem fio do tipo WLAN têm sido uma outra alternativa de baixo custo, oferecendo taxas de transmissão bem mais elevadas, típicas desse tipo de rede. A questão, então, é integrar estas duas redes, de forma que a conexão do usuário e o serviço oferecido a ele possam ter continuidade, independentemente da rede com a qual o terminal do usuário esteja enlaçado.

Para isto, questões inerentes ao controle de acesso ao meio, às arquiteturas, tecnologias e protocolos para a integração WLAN-3G vêm sendo estudadas. No entanto, todos esses estudos passam por um ponto principal: a gerência de mobilidade. As tentativas de uso de arquiteturas e tecnologias para a integração de redes focam suas atenções, comumente, na redução do tempo envolvido com os processos de movimentação do móvel.

Para comprovar isto, basta analisarmos, por exemplo, os esforços feitos no sentido de ter uma versão operacional da função *MIH* (*Media Independent Handover*) do padrão IEEE 802.21 e do

padrão *IMS* (IP Multimedia Subsystem). O primeiro tenta, a todo custo, reduzir o tempo gasto com os procedimentos de descoberta de pontos de acesso (redes disponíveis), assim como com a execução física do *handover*. O segundo, vai em direção a uma tendência mundial, que são as redes All-IP. Estudos têm mostrado que o caminho mais natural para integrar redes celulares a redes comutadas por pacotes, é fazer as duas “falarem” o mesmo protocolo. Sendo assim, o *IMS* propõe a inserção da pilha IP, dentro do núcleo de uma rede celular, integrando o que há de melhor nos dois mundos.

Outro exemplo, são as tentativas de reduzir os tempos gastos com a sinalização usada em protocolos como o *SIP* e o *MIP*, que estão sempre presentes como ferramentas importantes nas arquiteturas e nas tecnologias usadas para integrar redes com suporte à mobilidade de terminal e sessão.

Como pode ser observado, as tentativas de integrar redes heterogêneas têm sempre um ponto central e crítico, o momento da migração do móvel entre uma rede e outra, mais conhecido como *handover*. Então, reduzir os tempos envolvidos com esse processo, em qualquer uma das camadas do modelo de referência *OSI/ISO*, passa a ser essencial para o sucesso de qualquer solução.

O processo de *handover* possui algumas características, de acordo com suas classificações. A primeira e mais básica delas é feita em relação ao seu tipo, podendo ser: i) *soft handover*, onde a migração entre uma rede e outra acontece de forma suave, não havendo perda da conexão anterior antes que a conexão atual esteja ativa e operacional; e ii) *hard handover*, onde a migração é feita de forma abrupta, com a perda da conexão anterior antes da atual ser estabelecida.

Outra classificação do *handover* é feita baseada nos tipos de RAT's (*Radio Access Technologies*) das redes envolvidas. Durante a migração de um terminal móvel entre redes com a mesma RAT, o *handover* é dito horizontal (*HHO - Horizontal Handover*). Por outro lado, se estamos tratando com redes heterogêneas, as RATs deverão ser diferentes, caracterizando o *handover* dito vertical (*VHO - Vertical Handover*), que, sem dúvida necessita de maiores cuidados em sua gerência.

O *handover* pode ainda ser classificado em relação à sua execução. Nesta classificação, encontramos: i) o assistido pelo móvel (*MAHO - Mobile Assited Handover*), que, embora executado pela rede, é baseado em informações de qualidade da conexão, medidas no móvel; ii) o assistido pela rede (*NAHO - Network Assisted Handover*), no qual o móvel utiliza as informações coletadas pelo ponto de acesso, visando orientar o processo de decisão de *handover*; iii) o controlado pelo móvel (*MCHO - Mobile Controlled Handover*), que é identificado e executado integralmente pelo móvel; e iv) o controlado pela rede (*NCHO - Network Controlled Handover*), onde apenas a rede decide sobre o momento e os requisitos de *handover*, não havendo nenhuma participação do móvel no processo de decisão.

Desta forma, o procedimento de *handover* vertical pode ser dividido em três fases distintas, conforme a figura 2.1.

A integração entre as soluções apresentadas para os problemas de seleção de redes, controle de admissão e gerência de mobilidade IP é essencial para o sucesso de uma arquitetura de integração entre redes sem fio, visto que, juntas, tentam atender aos requisitos de um *handover* eficiente, a

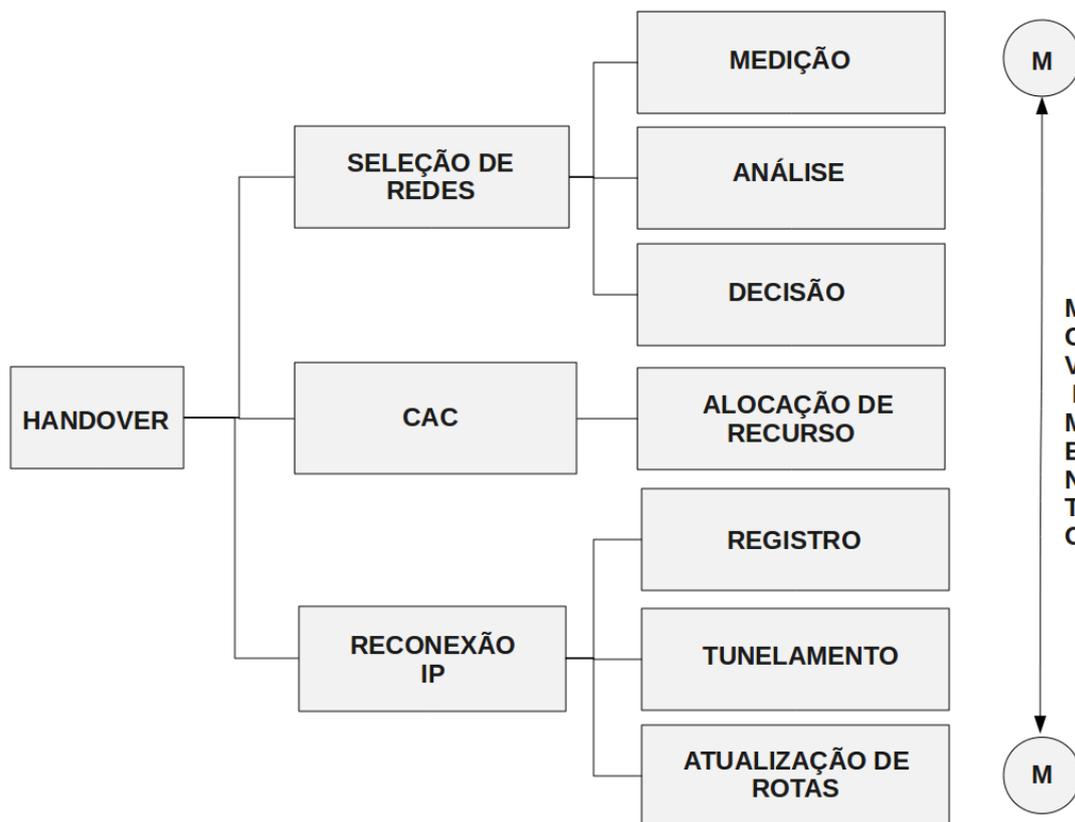


Figura 2.1: Fases do *handover*

saber:

- A detecção e o início do *handover* devem acontecer antes da perda da conexão atual do móvel (*soft handover*);
- A melhor rede deve ser sempre selecionada antes da execução do *handover*;
- O *handover* não deve deixar de ser completado devido à falta de recursos na nova rede;
- A latência do *handover* deve ser a menor possível, visando atender aos requisitos de aplicações com **altas restrições** de QoS (tempo real).

No entanto, as soluções que envolvem controle de admissão e alocação de recursos, apresentam um alto nível de necessidade de controle das redes, levando essas a problemas relacionados com sua implantação. Na maioria das vezes, essas propostas são validadas de forma analítica ou envolvendo simulação, devido a dificuldade de acesso às operadoras de telecomunicações, impedindo que tais soluções possam ser testadas dentro de suas redes.

Desta forma, trabalhos acadêmicos que possuam essa dependência, acabam, muitas vezes, sem ter a oportunidade de ter seu funcionamento verificado em um ambiente de rede real e em produção. Por esse motivo é que, nesta tese, foram procuradas soluções para os problemas de seleção de

redes e de gerenciamento de mobilidade IP, que juntos, apresentassem uma solução robusta, implementável e de possível utilização, sem a dependência de acesso ao núcleo das redes de acesso gerenciadas por operadoras de telecomunicações.

2.3 Protocolos e Tecnologias de Integração de Redes Heterogêneas

Diversos estudos têm sido apresentados contendo propostas para adoção de formas para reduzir a latência do *handover* entre redes heterogêneas usando MIH, IMS, MIP e SIP, esquemas de Controle de Admissão de Conexão e alocação de recursos. Esses estudos se baseiam em arquiteturas para a integração, categorizadas como muito acoplada, pouco acoplada e não acoplada (também conhecida como par-a-par) ([Munasinghe and Jamalipour 2008], [Song et al. 2007a]). Os conceitos que norteiam esta categorização podem ser resumidos como segue.

Na arquitetura muito acoplada, a WLAN está diretamente ligada ao núcleo da rede 3G, fazendo com que, tanto o tráfego de dados quanto o de sinalização, sejam roteados através do núcleo da rede 3G, antes de chegar à rede IP externa. Portanto, as técnicas de gerência de mobilidade usadas em redes UMTS podem ser aplicadas diretamente sobre a WLAN, considerando que a mesma é parte integrante da rede 3G.

Por outro lado, em arquiteturas pouco acopladas, a troca de sinalização entre as redes WLAN e 3G é feita através do núcleo da rede UMTS, enquanto que os fluxos de dados são encaminhados diretamente à rede IP externa. Uma vez que o tráfego de dados é encaminhado diretamente a uma rede IP externa, este método pode ajudar a evitar um gargalo de tráfego no núcleo da rede UMTS, tornando-o mais eficiente nas entregas de dados e, portanto, a mobilidade das conexões de tempo real possa ser garantida mais facilmente [Yang and Deng 2007].

Finalmente, as arquiteturas par-a-par consideram as redes 3G e WLAN como redes independentes, interligadas normalmente através de *gateways*. Esta arquitetura pode ser vista como uma variante da arquitetura pouco acoplada [Yusof et al. 2007]. Neste caso, a gerência de mobilidade deve ser realizada por um protocolo de camada superior como o *Mobile IP* (MIP) [Munasinghe and Jamalipour 2007]. Entretanto, problemas operacionais do MIP (por exemplo, questões relacionadas aos atrasos associados ao roteamento triangular), fazem da arquitetura ponto-a-ponto a menos indicada para ambientes onde a frequência de movimentação dos usuários é alta.

Mesmo assim, sempre baseado na necessidade de ubiquidade no acesso a serviços e, em especial, a serviços de vídeo e na condição das redes envolvidas serem controladas por operadoras diferentes, é que o uso de arquiteturas sem acoplamento tem se apresentado como uma boa alternativa para mediar a interoperação entre redes sem fio heterogêneas, tendo seu desempenho condicionado à redução da latência do MIP e suas variações. Desta forma, é comum encontrar trabalhos tendo como objetivo, direto ou indireto, propor uma arquitetura de integração entre redes

sem fio heterogêneas, com o objetivo de proporcionar a manutenção das conexões do móvel após o *handover*.

Nas próximas seções, serão apresentados os principais conceitos dos protocolos MIP e SIP e das tecnologias MIH e IMS, para dar ao leitor uma visão geral sobre o funcionamento das mesmas a fim de subsidiar o entendimento de algumas decisões adotadas neste trabalho.

2.3.1 IP Móvel: MIP

O MIP é um protocolo de gerenciamento de mobilidade da camada de rede. Basicamente, ele abstrai, das camadas superiores, a visão de que houve uma mudança do endereço IP, reajustando, automaticamente, as tabelas de roteamento, o que permite, dessa maneira, que uma conexão já estabelecida não seja interrompida. Maiores detalhes sobre MIP podem ser encontrados em [Perkins et al. 2002]. Na figura 2.2 é exemplificado o modelo de uso da pilha MIP, que pode ser utilizado, por exemplo, independentemente do protocolo de transporte.

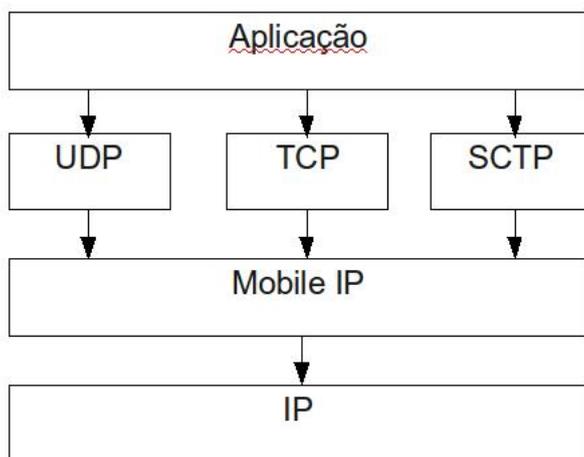


Figura 2.2: Possibilidade de uso de pilha MIP

O MIP é uma solução da camada de rede que permite a mobilidade entre redes com a mesma (ou diferentes) tecnologias de comunicação. Esta mobilidade pode proporcionar a movimentação do terminal sem perda de conectividade, sendo que, com o aumento da abrangência de vários tipos de redes sem fio, esta conectividade contínua está se tornando quase uma necessidade. O MIP define três entidades funcionais onde seus protocolos de mobilidade devem ser implementados: nó móvel, *Home Agent* e o *Foreign Agent*.

- Nó Móvel - é um nó que pode alterar seu ponto de conexão em um ambiente onde se encontram um aglomerado de redes, de um *link* para outro, mantendo todas as comunicações em andamento e utilizando apenas seu endereço IP permanente (*IP Home Address*);
- *Home Agent* - é uma entidade que mantém o controle de localização dos nós pertencentes a

sua rede e pode atuar como roteador para enviar pacotes a nós que pertencem a sua rede mas que não se encontram, no momento, fisicamente dentro da sua área de abrangência;

- **Foreign Agent** - é a denominação dada, de acordo com a visão de um nó móvel, para um **Home Agent** de uma rede que não seja a sua rede padrão.

As entidades MIP interagem de acordo com a figura 2.3, que apresenta um nó móvel pertencente à rede do **Home Agent** quando se encontra em uma rede estrangeira. Qualquer fluxo em direção ao nó móvel é enviado via **home agent** → **foreign agent**; já qualquer fluxo oriundo do nó móvel, é encaminhado via as regras utilizadas para enviar qualquer tipo de dado, hoje em dia, na rede.

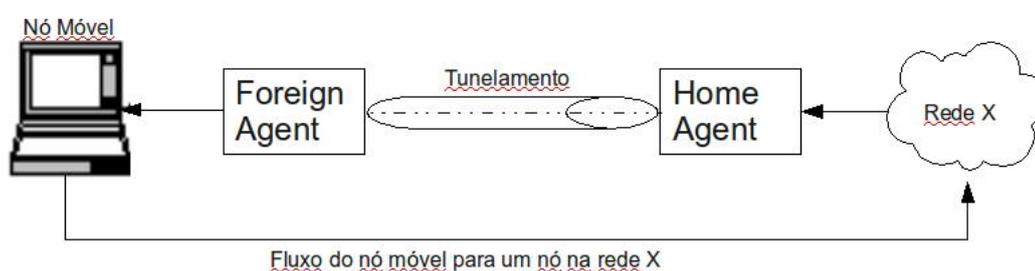


Figura 2.3: Comunicação utilizando o MIP

Os nós móveis que fazem uso do MIP, utilizam dois endereços IPs. Um dos endereços é fixo (HA) e, uma vez atribuído, dificilmente é alterado, sendo este apresentado sempre para camadas superiores. O segundo IP (CoA) é o endereço que realmente é utilizado para enviar e receber dados, ou seja, o endereço real.

Como a abertura de conexão se faz pela vinculação de endereço IP e sendo este IP fixo (HA), não existe a necessidade de reinício de uma conexão já estabelecida e é precisamente isso que o MIP faz quando apresenta para suas camadas superiores o **Home Address** (HA). Como ele não é alterado, não existem problemas de reconexão para aplicações, devido à mudança do terminal de uma rede lógica para outra, sendo que o IP que é alterado, é apenas o segundo endereço, no caso o CoA.

Quando um nó móvel se encontra em sua rede de origem, ou seja, a rede à qual pertence o seu IP HA, não é necessário o uso do segundo endereço IP (CoA), sendo este presente apenas quando o nó móvel se encontra em uma rede lógica que não seja a do seu HA, ou seja, uma rede estrangeira.

É presumido que, para usar o MIP, toda as instâncias do protocolo estejam instaladas e em funcionamento (**Home Agent**, **Foreign Agent** e terminal móvel). Eles notificam suas presenças em todos os **links** conectados, através de envio de mensagens especiais de **multicast/broadcast**. É através dessas notificações que a parte cliente do MIP no nó móvel consegue perceber se ainda se encontra na sua rede de origem ou se está em uma rede estrangeira, e se este for o caso, haverá uma solicitação de um endereço IP CCoA. Nesta fase de descobertas, o nó móvel também deterá

o CoA(o endereço do *Foreign Agent* onde o mesmo se encontra) para que possa ser informado ao seu HA sobre a sua nova localização.

O HA, ao receber a nova localização de um nó móvel pertencente a sua rede, passará a interceptar todos os pacotes que chegam a sua rede destinado a esse nó móvel, reencapsulando e o reencaminhando via *Foreign Agent*. Já no sentido reverso, pacotes enviados pelo nó móvel são diretamente roteados para seu destino, sem qualquer necessidade de tunelamento. Isso tudo pode ser demonstrado através da figura 2.3.

A maioria dos trabalhos que envolvem MIP está dentro de um contexto de integração [Li et al. 2007], [Malekian 2008], [Mussabbir et al. 2007] e podem ser classificados de acordo com a figura 2.4. O maior desafio das pesquisas envolvendo este protocolo, reside na necessidade de redução da latência gerada pela troca de mensagens de sinalização, previstas pela definição do protocolo, gerando inúmeras propostas de extensão do mesmo, para atender o objetivo principal de um cenário de integração de redes heterogêneas baseadas em IP: a redução do tempo (latência) de descontinuidade da conexão durante o processo de *handover*.

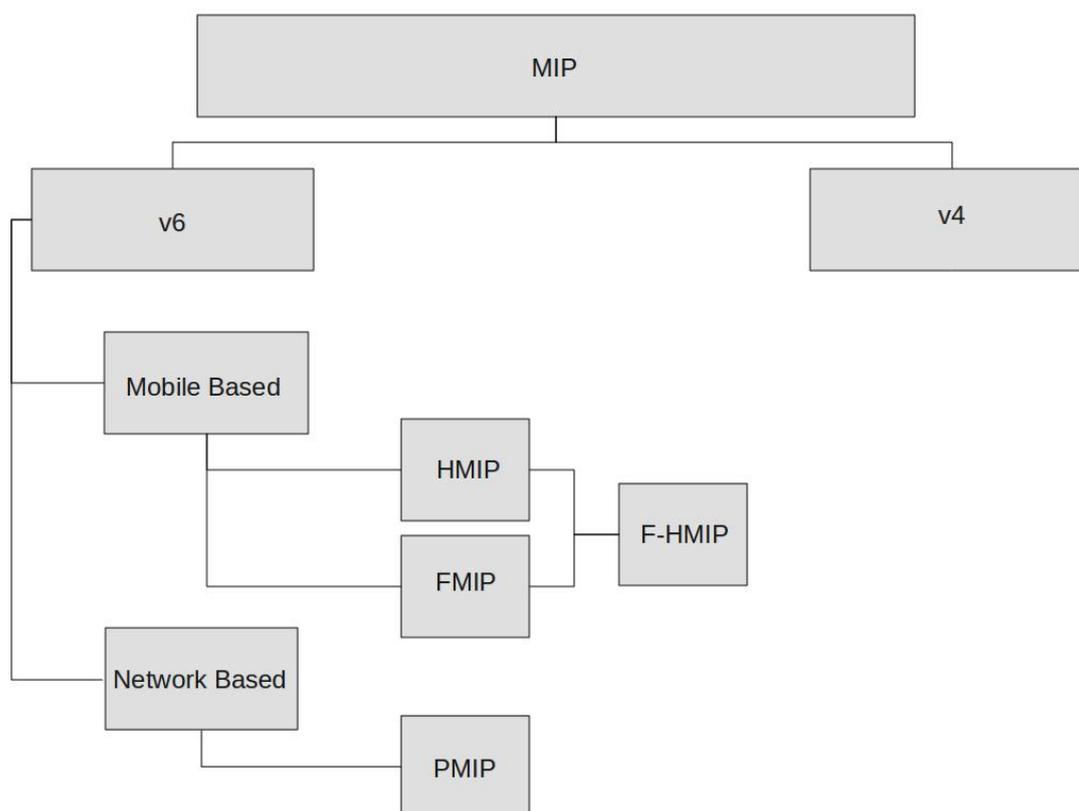


Figura 2.4: Classificação dos Trabalhos sobre MIP

Desta forma, trabalhos abordando questões sobre a latência do MIP podem ser, primeiramente, classificados de acordo com a versão do IP utilizado (4 ou 6). Naturalmente, as contribuições feitas sobre o MIPv4 são mais antigas [Fu et al. 2005c], [Fu et al. 2005a], [Fu et al. 2005b], [Fu and Atiquzzaman 2005], [Sivagurunathan et al. 2005a], [Sivagurunathan et al. 2005b], [Xie and Akyildiz 2002] e [Blondia et al. 2003], visto que o IPv4

possui muitas limitações em relação ao suporte à mobilidade, se comparado com o IPv6.

Assim, os trabalhos recentes que apresentam propostas para solucionar o problema da latência do MIP, reúnem esforços sobre o MIPv6 e podem ser classificados, em primeira instância, de acordo com a localização do controle da sinalização. Desta forma, as propostas podem ser consideradas como baseadas no móvel e baseadas na rede. As propostas baseadas no móvel, apresentam uma sub-classificação de acordo com a forma de funcionamento do MIPv6, apresentando as variações HMIP, FMIP e FHMIP. Por outro lado, as propostas baseadas na rede, apresentam apenas uma sub-classe, conhecida pelo uso de *proxies*, comumente chamados de LMA (**Local Mobility Anchor**) e MAG (**Mobile Access Anchor**) e tem com função principal reduzir a participação do móvel na troca de mensagens, reduzindo assim os tempos gastos para a execução das tarefas do MIP.

Nos trabalhos citados até aqui, o MIP foi analisado comumente, considerando a troca de mensagens de sinalização, analisando seu desempenho de forma numérica. Os trabalhos propõem ainda melhoramentos na sinalização MIP e em suas variações (em especial no MIPv6 e no FMIPv6).

O uso do HMIP tem sido frequente para a redução de sinalização entre o móvel e os elementos da arquitetura MIP, visto que utiliza o conceito de micro e macro mobilidade, centrado em um novo elemento introduzido na arquitetura, chamado de MAP (**Mobile Anchor Point**). Nessa arquitetura, o móvel possui dois tipos de CoA: LCoA (Local CoA) e o RCoA (Regional CoA). O LCoA identifica o móvel dentro do domínio de um AR (Access Router), enquanto que o RCoA identifica o móvel dentro do domínio de um MAP. Com o uso do MAP, a arquitetura pode verificar se o móvel migrou para outro AR (**Access Router**) dentro ou fora do domínio daquele MAP, decidindo se a mobilidade foi micro ou macro.

Caso a mobilidade seja micro (dentro do domínio do mesmo MAP), não há necessidade de geração de mensagens de BU (**Binding Update**), que visa atualizar o RCoA do móvel junto ao seu HA. Portanto, com o HMIP, pode-se reduzir a sobrecarga de sinalização referente às movimentações locais ao mesmo domínio MAP, restando apenas a sinalização referente às movimentações inter-domínio dos MAPs, as quais necessitam que o móvel atualize seu RCoA com seu HA.

Neste contexto, os autores em [Mansourme et al. 2008], apresentam um esquema para reduzir a latência do *handover* usando HMIP. Para tanto, utilizam informações de localização dos agentes estrangeiros. Cada agente estrangeiro sabe a localização dos seus vizinhos e pode detectar o movimento do móvel. Nessa proposta, o móvel informa periodicamente, ao seu agente estrangeiro atual, a sua localização, facilitando a predição da distância entre o agente estrangeiro e o móvel. Os autores provam, usando simulação, que, com a troca de informações sobre a localização dos móveis e de seus agentes estrangeiros, a latência do HMIP é reduzida, visto que a direção do movimento do móvel pode ser prevista e, assim, tomadas as providências de re-conexão IP, antes da conexão antiga ser perdida.

Ainda com foco em HMIP, pode-se verificar em [Lixin et al. 2010], um esquema de *handover* baseado no MIPv6, empregando uma solução otimizada de gerenciamento inter-domínio, redu-

zindo as mensagens de sinalização obrigatórias e, com isso, a latência do *handover*. Em contraste com o protocolo HMIP normal, o método proposto pode reduzir bastante a latência do *handover* e a perda de pacotes. Na proposta, é analisado ainda, o tempo de anúncio do agente estrangeiro, com a verificação do impacto desse tempo na latência da solução e a obtenção, segundo os autores, do tempo de anúncio ótimo.

Os autores em [Taleb et al. 2009], levantam o problema de haver congestionamentos nos MAPs, quando o HMIP é usado. Esses congestionamentos provocam atrasos no roteamento/tunelamento das informações, resultando em prejuízos para o *handover*. Para resolver este problema, os autores propõem uma nova técnica, batizada de **Dynamic Efficient MAP Selection** (DEMAPS). O esquema proposto funciona semelhante ao HMIPv6, quando a rede não está sobrecarregada. No caso da rede estar sobrecarregada, a seleção de MAPs é baseada em uma estimativa de carga do MAP destino, utilizando o método da média móvel exponencial. Os resultados das simulações demonstram que o DEMAPS pode equilibrar, de forma eficiente, a carga de sinalização entre os MAPs, ajudando a otimizar o desempenho da rede em comparação com os esquemas tradicionais HMIP.

Alguns trabalhos analisam o funcionamento do MIP e suas variantes. Um exemplo pode ser encontrado em [Saha et al. 2009]. Neste artigo pode-se encontrar uma visão geral do funcionamento de algumas propostas feitas com base no HMIP. Os autores apresentam o HMIP, PHMIP, RHMIP, DHMIP e FFHMIP que, de uma forma ou de outra, apresentam melhoras para a gerência de mobilidade IP. Foram analisadas as vantagens e desvantagens de cada proposta, através de testes que levaram em consideração a latência do *handover* e a sobrecarga de sinalização. O trabalho ainda propõe um modelo de rede capaz de eliminar a necessidade de mensagens de atualização entre o móvel e seu HA, mostrando que, desta forma, pode-se alcançar um melhor desempenho do que outros com o uso dos protocolos analisados.

O FMIP também é uma variação do MIP, onde algumas propostas se sustentam para tentar reduzir, tanto quanto possível, a latência do *handover*. Para tanto, as propostas utilizam informações da camada de enlace, numa tentativa de prever o *handover* antes que ele realmente ocorra na camada de rede. Sempre que possível, essas informações são coletadas e analisadas, para que decisões de re-conexão IP possam ser tomadas, antes que a conexão anterior seja perdida. O uso do MIH pode ser uma solução eficiente, visto que o padrão 802.21 prevê **interfaces** específicas entre as camadas de enlace e rede para a troca dessas informações.

Um exemplo disso pode ser encontrado em [Alnas et al. 2009b], onde os autores apresentam uma proposta de redução da latência do MIP, através do uso de informações da camada de enlace. Essas informações, indicam que o nível de sinal de determinado enlace com um AP está reduzindo, indicando que um possível *handover* irá iniciar. Essas informações são utilizadas pela proposta para verificar a existência de outros APs e então agir pró-ativamente, no sentido de conseguir as informações sobre o endereçamento IP das possíveis próximas redes.

Além disso, trabalhos como [Alnas et al. 2009a] e [Lee et al. 2008] também refletem essa preocupação e a tendência de utilizar informações da camada de enlace, através das **interfaces**

de serviços da função MIH.

O FHMIP é outra variante do MIP que procura unir o melhor dos dois mundos. Sendo assim, a idéia do FHMIP é usar a funcionalidade hierárquica do HMIP, que reduz a sinalização MIP entre suas entidades, considerando os conceitos de micro e macro mobilidade com o uso de MAPs, juntamente com a funcionalidade do FMIP, que age pró-ativamente, tentando a todo custo, estabelecer uma nova conexão IP, antes que a antiga seja perdida, sempre com base nas informações da camada de enlace.

Podem ser observadas em [Lopes et al. 2009b] e [Lopes et al. 2009a], propostas para manter níveis de QoS em redes compostas de roteadores com suporte a essa variante do MIP, caracterizando que os esforços feitos até hoje, para reduzir a latência deste protocolo, tem ajudado a resolver alguns problemas em cenários bem definidos.

Embora as variações do MIP tenham evoluído rapidamente dentro da classificação de soluções MIP baseadas no móvel (figura 2.4), as soluções baseadas na rede têm recebido atenção especial. Este fato é explicado pela facilidade de reduzir mensagens de sinalização, quando a solução está centrada na rede. Para que isso aconteça, a utilização de *proxies* dentro das entidades do MIP (HA e FA) tem sido a direção tomada por trabalhos de pesquisa encontrados na literatura, caracterizando o PMIP.

Um exemplo de uso de proxies pode ser encontrado em [Obele and Kang 2009], onde os autores optaram pelo uso do PMIP, onde o móvel participa pouco da sinalização durante o *handover*, ficando toda essa carga para a rede. A alternativa usada, o PMIPv6, depende da sinalização MIPv6 e da reutilização de funcionalidade do HA através de um agente *proxy* para gerenciar a mobilidade na rede, fornecendo, de forma transparente, serviços de mobilidade aos dispositivos. Nesta presente tese, portanto, é apresentada uma alternativa ao PMIPv6, baseada em informações de QoS, incluindo os acordos de nível de serviço estabelecidos entre a rede e o usuário do serviço, visando tornar eficazes as decisões de *handover*. Segundo os autores, a proposta reduz significativamente a latência do *handover* e ajuda a garantir que os usuários de redes móveis possam ter suas conexões mantidas segundo os SLAs estabelecidos dentro de um domínio PMIP.

Outro trabalho centrado em PMIP pode ser encontrado em [Bargh et al. 2008], onde é apresentada uma estratégia, também baseada em *proxies*, que permite a troca de mensagens de *bind* simultâneas entre os agentes estrangeiros, facilitando a pró-atividade do *handover*, visto que o processo pode ser conduzido totalmente pela rede, sem a necessidade de haver perda de conexão. Os autores mostram, usando simulação, que a latência do *handover*, com o uso da proposta, pode ser reduzida para menos de 10 milissegundos(ms), assim como a perda de pacotes também pode ser reduzida ou até mesmo eliminada com o uso de *buffers* nos *proxies*.

A grande maioria das soluções MIP tem sido baseada na versão 6 do protocolo IP. No entanto, ainda existem muitas redes em funcionamento com o IPv4. Essas redes, devido principalmente às limitações de tamanho dos campos de endereçamento do cabeçalho IPv4, têm usado com frequência o NAT (*Network Address Translation*). O NAT, apesar de servir bem aos seus propósitos, causa um atraso no roteamento devido a atividade de mapeamento de endereços IP,

gerando problemas sérios para redes baseadas em MIP que precisem funcionar com base no IPv4, dificultando o roteamento em casos onde o móvel migre entre redes de operadoras diferentes.

Para resolver este problema, [Jia and Chen 2010], propôs um novo *Network Address Translation* sob Demanda (NAToD), que pode interoperar bem com soluções PMIP. Com a proposta, endereços IPv4 públicos podem ser compartilhados por vários nós móveis na rede, reduzindo assim a latência do *handover*, visto que a atualização de endereços IP pode ser evitada, considerando móveis em uma mesma WLAN. Note que a preocupação com as redes IPv4 legadas fica bastante clara no citado trabalho.

Pode ainda ser encontrada em [Kong et al. 2008a], uma comparação do desempenho do PMIPv6 com as demais variações do MIPv6 classificadas como baseadas no móvel (MIPv6, HMIPv6, FMIPv6 e FHMIPv6). As análises apresentadas pelos autores confirmam a superioridade natural do PMIPv6, considerando a também intrínseca redução de mensagens entre o móvel e as entidades MIP.

No entanto, algumas ponderações precisam ser feitas quanto ao uso do PMIP. Dentre elas, a principal a ser destacada é a necessidade do controle e acesso total ao núcleo da rede, reduzindo assim, a viabilidade de sua implantação. Nas referências consultadas, os resultados apresentados referentes à sua avaliação foram comprovados matematicamente e demonstrados usando ferramentas de simulação baseadas em eventos discretos, como se pode verificar em [Kara 2009].

Por outro lado, uma proposta interessante de *framework* é apresentada em [Bolla et al. 2009]. Essa proposta visa a entrega adaptativa de dados multimídia em ambientes móveis. Este trabalho apresenta o conceito de *Personal Address* (PA), que é um endereço de rede associado ao usuário, em vez de a uma *interface* de rede. O *framework* proposto funciona na camada de rede, relacionando cada usuário a um PA único, conhecido em todas as redes e dispositivos usados por aquele usuário, fornecendo uma comunicação uniforme e transparente. Os autores afirmam que a transparência de localização propiciada pelo PA, permite ao usuário receber dados multimídia independente de rede IP onde seu terminal esteja conectado. No entanto, a solução apresentada usou o IP móvel e os autores não mostram como isto afetou a continuidade de sessão em transmissões multimídia.

Sendo assim, após o levantamento de alguns dos trabalhos sobre MIP, foram observados dois aspectos para os quais pode haver escassez de publicações: i) o aspecto que envolve questões práticas e operacionais na implementação/implantação de soluções MIP, visto que os resultados apresentados usando simulação nem sempre apresentam dados conclusivos, devido às condições de ambiente consideradas; ii) o aspecto de compatibilidade com as redes IPv4 legadas (exceto em [Jia and Chen 2010]), visto que todos os estudos consultados, apontam para o uso do MIPv6 como melhor solução.

2.3.2 MIH (*Media Independent Handover*)

Atualmente, algumas contribuições têm sido feitas ao padrão IEEE 802.21. Mais especificamente, há um interesse crescente no sentido de investigar como esse padrão poderia permitir o *seamless handover* entre redes com tecnologias de enlace diferentes.

O *Media Independent Handover* (MIH) é um padrão especificado pelo IEEE, sob a insígnia IEEE 802.21, que propõe funcionalidades para possibilitar o *handover* entre redes heterogêneas sem a descontinuidade de serviço, promovendo a qualidade de experiências de usuários móveis. O IEEE 802.21 é uma arquitetura que apresenta facilidades para que camadas superiores interajam com camadas inferiores para obtenção de informação que auxiliem na previsão do *handover* sem atrasos e com continuidade de serviço, independente da tecnologia de rede utilizada. Para lidar com diferentes tecnologias, o padrão define *interfaces* genéricas para *Service Access Points* (SAP) que buscam um conjunto de informações sobre o estado do enlace para controle do *handover*. Desta forma, o MN terá um conjunto de funções disponíveis, que permitem o gerenciamento da previsão e decisão do *handover*.

De acordo com [Pontes et al. 2008], todas as funcionalidades do padrão são definidas na função MIH (MIHF) que oferece os serviços: **Media Independent Event Service** (MIES), **Media Independent Command Service** (MICS) e o **Media Independent Information Service** (). Estes serviços são o núcleo da especificação e definem o modelo de comunicação entre as camadas com a rede. A Figura 1 apresenta um modelo de interação entre entidades MIHF local e remota. As descrições sobre os serviços MIHF são baseados nos estudos realizados por [De La Oliva et al. 2008].

O MIHF é uma entidade lógica que oferece as interfaces de abstração dos serviços de eventos, comandos e informações. O MIES oferece requisitos para obtenção, classificação e relatórios de eventos que descrevem o estado e a qualidade do enlace da rede. Assim, um *link event* é utilizado para representar/sinalizar um evento ocorrido, sobre os quais as camadas superiores registraram interesse no MIHF e que deve ser tratado. Os eventos de enlace e eventos MIH são divididos em 5 categorias: administrativo, mudança de estado, parâmetro de enlace, pré-indicado (*predictive*), enlace sincronizado e transmissão de enlace.

O MICS possibilita o controle e gerência das características do enlace da rede que possam contribuir para a decisão do *handover*. Desta forma, um *link command* é uma abstração para um comando dos usuários MIH em direção ao MIHF para gerência do enlace da rede, podendo ser um comando local, tratado pelas camadas inferiores, ou remoto, que será tratado pelas camadas da entidade remota. Os comandos são específicos da rede de acesso que estiverem sendo utilizadas pelas entidades comunicantes.

O MIIS permite às entidades o compartilhamento de informações que auxiliem na tomada de decisão quanto ao processo de *handover*, por exemplo, sobre a camada de enlace e disponibilidade de serviços. O objetivo principal do MIIS é fornecer ao MN informações necessárias para decidir qual rede apropriada deve ser selecionada para a transição do MN. As informações oferecidas

pelo MIIS são divididas em cinco grupos: Informações Gerais (ex: operadoras da área), Rede de Acesso (ex: custo, segurança, QoS), Informações sobre o PoA (Ponto de Acesso) (ex: localização, taxa de dados, canais), Serviços de Camadas Superiores (ex: informação sobre a subrede) e Outras Informações (ex: específicas do fornecedor). O MIIS está habilitado a prover informações sobre as camadas 1 e 2 das redes disponíveis, fornecendo ao móvel conectado a uma rede WLAN, por exemplo, informações sobre a rede celular 3G na sua área geográfica, possibilitando maior flexibilidade na obtenção de informações sobre o funcionamento da rede.

O processo de comunicação no MIHF, é definido de duas maneiras: o SAP (*Service Access Points*) para comunicação entre camadas adjacentes, e entidades comunicantes MIHF comunicam-se através do protocolo MIH, responsável por encapsular os frames MIH para envio através do enlace físico. O modelo define três SAPs: MIH_SAP , para acesso das camadas superiores as camadas inferiores e ao MIH; MIH_LINK_SAP , para conectar o MIHF e as camadas inferiores; e MIH_NMS_SAP , para funções de gerenciamento. Dessa forma, cada tecnologia de rede deve tratar as adaptações necessárias para a utilização dos *SAPs*, sendo que a especificação do modelo não define como devem ser implementadas, ficando a solução sob a responsabilidade dos seus desenvolvedores.

Alguns trabalhos propõem arquiteturas pouco acopladas de integração entre WLAN e 3G, com o intuito de melhorar o desempenho das fases inerentes ao processo de *handover*. Na prática, esses trabalhos utilizam os conceitos de alguma das funções do MIH (MIIE, MIIS e MIIC), visando melhorar as ações de seus *frameworks*.

Nesse sentido, em [Lim et al. 2009], os autores propõem uma arquitetura flexível para o acoplamento entre redes WLAN e 3G, chamado SHARE. Nessa proposta, cada AP tem uma interface WLAN e uma interface 3G, usadas para que o AP possa estar conectado simultaneamente nas duas redes. O resultado é que as estações 3G podem compartilhar seus canais de controle com os APs, facilitando a detecção de APs disponíveis para atender os móveis em transição, sem, de acordo com os autores, gerar o atraso característico da fase do *handover*, conhecida como descoberta de rede.

Os autores de [Ali and Pierre 2009] propõem um modelo de mobilidade para integrar redes WLAN e 3G, que estima a probabilidade de movimentação do usuário de forma dinâmica, numa tentativa de encontrar um limite entre a qualidade de serviços oferecidos pela infraestrutura de rede e os limites de um *Soft Vertical handover* (SVHO). Os resultados demonstraram a eficiência da proposta, em comparação com técnicas tradicionais que caracterizam a mobilidade vertical do usuário, apenas baseadas nos limites das células.

Numa tentativa de manter a continuidade de sessão de serviços multimídia durante um *handover* vertical entre redes WLAN e 3G, os autores em [Machan et al. 2008] apresentam uma avaliação dos mecanismos de apoio à mobilidade propostos pelo IEEE 802.21. Os autores apresentam os resultados dos estudos de aplicação desses mecanismos para ajudar o *handover* em ambos os sentidos. Os autores validaram seus resultados utilizando um ambiente simulado com o *software* NS-2.

Em [Wang et al. 2009] é feito um estudo sobre o IEEE 802.21 e é proposto um algoritmo que visa ajustar um *buffer* para armazenar os dados temporários necessários para auxiliar a recuperação das conexões após o *handover*. O sistema de gerenciamento de *buffer* irá prever o tempo de *handover*; em seguida irá informar e armazenar os dados necessários para que o mesmo seja feito. Os autores em [Tawil et al.] apresentam uma proposta de utilizar a função MIH (*Media Independent Handover*) do padrão IEEE 802.21 para proporcionar agilidade na sinalização do *handover*, alcançando uma redução no tempo de descontinuidade da conexão.

Em [Kim et al. 2009] os autores se concentram sobre o quadro transmitido através de mensagens MIH, e propõem ajustar a estrutura dos quadros para cada uma das redes envolvidas na integração, usando novas mensagens MIH. O desempenho do MIH proposto é analisado em termos da latência de transmissão por meio de análise numérica.

O objetivo de [da Silva 2009] foi apresentar a especificação do MIH e propor melhoramentos para o procedimento do *handover* em redes heterogêneas, já que a especificação não oferece detalhes de como deve ser implementado o processo de *handover*. Neste caso, os autores discutiram três pontos principais:

- Procedimento para descoberta do servidor de informações do domínio: para o descobrimento de um Servidor de Informações (IS) na rede, foi proposta a inserção de uma nova opção no *framework* do MIH que é o *IS Location Address Option*, utilizada juntamente com o DHCPv4. Assim, quando um móvel necessitar encontrar um IS, o mesmo deve enviar uma mensagem do tipo DHCPDISCOVER, incluindo esta opção.
- Algoritmos para a tomada de decisão quanto ao PoA (Ponto de Acesso) apropriado para migração: dentre as formas de escolha do ponto de acesso apropriado para migração do móvel, a potência do sinal entre o móvel e o PoA, e a disponibilidade de qualidade de serviço (QoS) requerida no PoA foram as mais vantajosas porque o móvel não precisará fazer uma busca por candidatos a PoA, reduzindo o tempo de *handover* e ainda oferecendo menor perda de datagramas que outras soluções.
- Adaptação da qualidade de serviço em função dos novos parâmetros de rede obtidos após o *handover*: propõem a melhoria de plataformas de entrega de serviços entre o móvel e o PoA, definindo a *Service Adaptation Function* (SAF) que permite o estabelecimento de parâmetros necessários para o oferecimento do serviço, tais como: a banda disponível na interface de rede dos terminais, atraso fim-a-fim e custos associados com o estabelecimento de uma chamada e transferência de mídia.

Em [Das et al. 2009], é apresentada uma descrição detalhada do modelo MIH e descrita uma implementação dos serviços da MIH. A implementação MIH é feita em Java 1.5, com os serviços de comando e eventos. O protótipo MIH oferece uma interface para os usuários MIH através de uma interface chamada *MIH_SAP*, definida na especificação IEEE 802.21. Os usuários podem executar comandos ou receber notificação de eventos através desta interface.

Existem outras contribuições sobre o padrão IEEE 802.21, como a apresentada em [Mussabbir et al. 2007]. Nesse trabalho, os autores usaram os serviços MIH para otimizar o processo de *handover* usando os mecanismos oferecidos pelo protocolo *Fast* MIPv6 (FMIPv6).

Outros trabalhos ([Song and Jamalipour 2008], [Wang et al. 2009], [Yang and Wu 2008], [Lee et al. 2009b]) foram analisados. Todos eles apresentam soluções que propõem o uso do MIH, juntamente com algoritmos que visam reduzir a latência do *handover* em suas fases importantes: descoberta de rede, controle de admissão, seleção de rede, re-conexão IP e manutenção de conexão, sempre na intenção de encontrar o momento e as condições ideais para fazer o *handover*, oferecendo ao usuário a melhor qualidade de serviço possível.

Em [Li et al. 2007] são classificados regimes de múltiplas interfaces para *handover* heterogêneo em redes sem fio. É proposto um sistema de múltiplas interfaces para IEEE 802.21 MIH. O esquema é proposto para ser capaz de trabalhar com o padrão TCP e agentes roteadores com *Mobile IPv4* sem configuração particular. Com base nesse esquema, foi implementado um modelo que considera um móvel com duas interfaces em uma simulação com NS-2, para avaliar o desempenho e comparar com o modelo que considera o terminal móvel com apenas uma interface.

Em [Fernandez et al. 2009], os autores apresentam um esquema de negociação de parâmetros de QoS dinâmico entre pontos de acesso. O artigo introduz um conceito de BAG (*Bandwidth Aggregation*), que permite ao móvel negociar, de forma dinâmica e usando os pontos de acesso, o caminho a ser usado para solicitar um serviço. Assim, os dispositivos podem se mover entre os pontos de acesso, mantendo a melhor condição de serviço possível.

2.3.3 IMS (*IP Multimedia Subsystem*)

O IMS tem sido usado no sentido de inserir no núcleo das redes celulares, as funcionalidades das redes baseadas no protocolo IP. O objetivo disso é proporcionar ao usuário o acesso a serviços sem descontinuidades. De acordo com [Marquez et al. 2005], é possível usar o 3GPP IMS para apoiar a negociação e a manutenção de sessões de aplicações de tempo real entre redes heterogêneas. A proposta é boa, pois o IMS proposto pelo 3GPP pode ser ideal para gerenciar a mobilidade de sessão. No entanto, usar o IMS como um gerenciador de sessão e como uma estrutura para a entrega de serviços [Gourraud 2007] não resolve os problemas relativos à gerência de mobilidade. Esses problemas têm sido resolvidos com o uso do SIP (*Session Initiation Protocol*), usado para sinalização no IMS [Marquez et al. 2005], sendo capaz de tratar o gerenciamento de sessão em um ambiente de rede UMTS-WLAN [Bernaschi et al. 2007].

A idéia de usar o IMS para a gerência de mobilidade de sessão também foi recentemente publicada em [Xu et al. 2007]. O trabalho se concentra, principalmente, sobre a garantia de QoS e aspectos de AAA fornecidos pelo IMS. A arquitetura proposta não descreve claramente um mecanismo para a realização de *vertical seamless handover* e para gerência de mobilidade.

Em redes UMTS, antes do *Release 4*, a conectividade IP era um serviço prestado pelo núcleo da rede [Bertrand 2007]. No entanto, este se limitou à padronização dos serviços básicos, tais

como iniciação, modificação e finalização de sessões multimídia. Mesmo quando as operadoras ofereceram (não-padrão) serviços IP avançados, a oferta de serviços fim-a-fim por todos os limites da rede era inviável. Assim, os assinantes tinham de usar serviços multimídia IP de terceiros [Poikselka and Mayer 2009].

O IMS possui as características adequadas para realizar o controle de sessões multimídia e, portanto, é essencial para a oferta de serviços IP multimídia no UMTS. Ele também prevê uma interface para serviços e aplicações multimídia fornecidos por terceiros de uma forma controlada e segura. A fim de facilitar estes serviços, o IMS possui uma série de mecanismos para negociação e manutenção de sessão, QoS, gerenciamento de mobilidade e oferta de serviços AAA.

2.3.3.1 Funções de Controle de Sessão de Chamada (*Call Session Control Functions*)

As CSCF, (*Call Session Control Functions*) e o HSS (*Home Subscriber Server*) são elementos importantes do IMS, os quais desempenham um papel vital no controle de sessão. Em geral, as funções de um CSCF podem ser consideradas análogas à do servidor SIP na arquitetura IETF [Rosenberg et al. 2001]. Elas são essencialmente envolvidas no processamento de mensagens de sinalização para controle de sessões multimídia de usuários. Além disso, os CSCFs também estão envolvidos com a tradução de endereços, realizando comutação de serviços e negociação de *codecs*, assim como com a manipulação do perfil do assinante. Dependendo da configuração e cenários, as funções dos CSCFs são categorizadas como:

- **Proxy CSCF (P-CSCF)**: é o primeiro ponto de contato de uma rede legada com o IMS, que pode estar localizado na mesma rede do GGSN. Ele pode estar na rede de origem ou na rede visitada do usuário. O P-CSCF tem duas funções principais. A primeira é ser o ponto para aplicação das políticas de QoS dentro do IMS. A segunda é proporcionar o controle local de serviços de emergência, além de dar suporte à criação de planos de numeração locais;
- **Interrogating CSCF (I-CSCF)**: é o principal contato entre a rede de origem do usuário e suas redes visitadas. Com a ajuda do HSS, o I-CSCF seleciona o *servicing*-CSCF (S-CSCF) apropriado. Eles têm uma série de funcionalidades: a) ele executa o balanceamento de carga entre os S-CSCFs com o apoio do HSS; b) oculta a rede de origem do usuário para outras operadoras de rede, fornecendo um único ponto de entrada na rede; c) realiza algumas formas de contabilização; d) suporta funções de *firewall*, desde que atue como *gateway* para a rede de origem do usuário;
- **Servicing CSCF**: é o elemento responsável por fazer o registro real do usuário e o controle de sessão na rede IMS. O S-CSCF também pode ser capaz de provisionar um conjunto de serviços especializados. Pode haver vários S-CSCFs na rede. Eles podem ser adicionados com base nos recursos dos nós ou os requisitos de capacidade da rede.

O IMS aparece como base de algumas importantes propostas para integrar redes sem fio heterogêneas. Um exemplo disso pode ser encontrado em [Vucetic et al. 2008], onde os autores destacam a importância da criação de mecanismos para interoperabilidade entre WLAN e 3G. Segundo os autores, a maior largura de banda torna uma WLAN um complemento importante para as redes celular. Considerando que as arquiteturas tradicionais apenas oferecem funcionalidades limitadas em ambiente heterogêneo, eles propõem um modelo que tem como ponto chave, a utilização do padrão IMS como mediador para suportar o gerenciamento e negociação de sessões. Além disso identificam uma abordagem para gerenciar **handoffs** verticais, inserindo uma nova entidade de gerenciamento de mobilidade no padrão IMS.

Em [Tang et al. 2008], os autores criaram e caracterizaram uma plataforma de testes IMS *open source*, baseada no “*Open IMS Core*”, que é um conjunto de componentes IMS de código aberto. Com foco no comportamento e desempenho dos nós e *links* no ambiente IMS, os quatro componentes principais foram instalados em quatro plataformas de *hardware* diferentes e depois foi verificado que esses componentes se comportaram de acordo com o fluxo de chamadas especificado pelo 3GPP. Quatro métricas foram utilizadas para avaliação: tempo de registro, tempo para resposta inicial, tempo para início da chamada e tempo para requisição de desconexão.

A arquitetura de integração proposta pelo 3GPP foi estudada por [Elmangosh et al. 2007], onde foi proposto um *framework* para prover a QoS requerida no estabelecimento das sessões IMS para terminais WLAN. Para tanto, os autores abordaram a integração IMS e WLAN, considerando o aspecto das negociações no nível de sessão, o que provê continuidade de serviço na perspectiva do usuário e o provimento de qualidade de serviço, garantindo consistência em diferentes redes de acesso.

Um *framework* para integração de redes WLAN e 3G é apresentado em [Munasinghe and Jamalipour 2008]. Esta proposta utiliza a especificação 3GPP IMS para mediar o acoplamento de rede e para gerenciar as conexões de tempo real. O trabalho utiliza o IMS para fornecer a um usuário de uma rede 3G, os recursos de QoS disponíveis em uma WLAN, ao mesmo tempo em que fornece uma plataforma comum e unificada para o controle da conexão do usuário.

Em [Li et al. 2007] são classificados regimes de múltiplas *interfaces* para *handover* heterogêneo em redes sem fio. É Proposto um sistema de múltiplas interfaces para IEEE 802.21 MIH. O esquema é proposto para ser capaz de trabalhar com o padrão TCP e agentes roteadores com *Mobile IPv4* sem configuração particular. Com base neste esquema, foi implementado um modelo que considera um móvel com duas interfaces em uma simulação com NS-2, para avaliar o desempenho e comparar com o modelo que considera o terminal móvel com apenas uma interface. O artigo analisa o desempenho dessas ferramentas e técnicas em um ambiente fortemente acoplado, usando o *IP Multimedia Subsystem* (IMS). Todos os resultados são apresentados em relação à Qualidade da Experiência (QoE) do usuário na recepção dos vídeos tratados.

2.4 Qualidade de Serviço na integração entre Redes sem Fio Heterogêneas

Os estudos feitos no sentido de integrar redes sem fio podem ser categorizados de três formas: os esforços feitos, visando a padronização de tecnologias que possam integrar, de forma transparente ao usuário, essas redes; os esforços feitos no sentido de reduzir a latência dos efeitos da mobilidade IP nessa integração; e os esforços feitos no sentido de garantir ao usuário uma transição transparente entre redes, preservando todos os seus requisitos de qualidade de serviço.

O problema de garantir qualidade de serviço em redes sem fio pode ainda ser sub-dividido em três outros: i) o problema da seleção de redes; ii) o problema do controle de admissão de conexões; e iii) o problema da reserva e escalonamento de recursos. Normalmente, estes problemas estão intimamente ligados e suas soluções se integram quando a intenção é integrar redes *wireless*, minimizando os impactos do processo de migração entre as redes envolvidas na integração.

Sendo assim, os aspectos ligados à seleção de rede têm sido abordados, de forma eficiente, levando em consideração as informações medidas diretamente no móvel, o que normalmente fornece uma posição mais real e efetiva sobre a qualidade de cada rede, sob o ponto de vista de quem está efetivamente recebendo o serviço.

No entanto, em uma visão sistêmica do processo de *handover*, não faz muito sentido selecionar uma rede com bons níveis de QoS e, ao tentar efetuar o *handover* para a mesma, os mecanismos de Controle de Admissão e Alocação de Recursos recusarem tal conexão. Isso implicaria em aumento na latência do processo, visto que uma nova rede teria que ser selecionada.

Por esta razão, o mais interessante é que a admissão da rede seja um dos parâmetros considerados na função de custo usada pelo mecanismo de seleção de rede, mostrando a interligação necessária entre as soluções para cada uma dessas fases do processo de *handover*.

Em um contexto onde temos redes sem fio heterogêneas (WLAN e 3G por exemplo), podemos contar com duas situações distintas: i) o móvel possui interfaces distintas que permitam ao mesmo estar conectado às duas redes ao mesmo tempo (multimodo); e ii) o móvel está sempre conectado, usando apenas uma de suas *interfaces*. No primeiro caso, as redes teriam cobertura sobreposta, podendo acontecer o que chamamos de *soft handover*, com característica vertical, visto as diferenças entre as RATs. No segundo caso, as redes podem ou não possuir área de cobertura sobrepostas, acontecendo sempre o que chamamos de *hard handover*.

Assim, em ambos os casos, os dispositivos móveis, usando seus procedimentos padrão de seleção de redes, tendem a selecionar aquela cujo nível de sinal é julgado melhor. No entanto, essa avaliação, para situações onde se tem *handovers* horizontais, pode ser eficiente, visto que as grandezas medidas em relação ao nível de sinal são as mesmas, o que não acontece quando temos o *handover* vertical. Além disso, a seleção da rede, mesmo sendo feita após o aceite da conexão, reflete apenas as condições de qualidade referentes a parâmetros físicos da rede, o que pode não refletir a qualidade dos serviços oferecidos pela rede.

Com isso, propostas de CAC (Connexion Admission Control) [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010a] e de seleção de redes baseadas em uma visão do usuário em relação à qualidade de experiência na recepção do serviço, pode ser mais interessante em um cenário onde tem-se redes WLAN e 3G de operadoras diferentes e com sobreposição de cobertura física.

Embora os trabalhos relacionados à seleção de rede venham sempre acompanhados de referências a mecanismos de controle de admissão, dentro de uma arquitetura de integração, onde o foco principal é sempre a otimização do *handover*, os autores em [Akkari et al. 2007] descrevem uma nova visão de gerência de mobilidade no contexto de NGNMs, baseadas totalmente em IP. É feita uma avaliação do *handover* dentro da arquitetura proposta para integração de redes 3G e WLAN.

Na arquitetura proposta, um módulo chamado IDM (do inglês *Inter-Domain Management*) é apresentado e estudado analiticamente, visando avaliar a probabilidade de descarte e de bloqueio de conexões durante o *handover* em função de variáveis como: largura de banda da rede, número de usuários e a estratégia de controle de admissão. Neste cenário, o trabalho propõe que o IDM oriente o móvel para a realização do VHO. Se isso não for possível, devido a análise feita pelo IDM na rede destino, o usuário é conduzido a realizar um HHO. Assim, o móvel é conduzido a uma rede com a mesma tecnologia de acesso que sua rede de origem, resultando no que os autores chamam de "vertical-to-horizontal *handover*". Os autores afirmam que essa estratégia de gerência de mobilidade consegue diminuir as probabilidades de bloqueio e descarte, contribuindo para a redução da degradação do QoS garantido ao usuário em uma NGMN.

Em [Bejaoui and Mokdad 2009], os autores avaliam o desempenho do *handover* em uma rede 3G, baseado na proposta da existência de túneis WLAN na periferia das células 3G para serem usados durante o desenvolvimento de uma função adaptativa de CAC orientada ao QoS das redes. Esta função é proposta, visando limitar a ocorrência de *hard handovers* entre as redes WLAN e 3G, no caso de móveis usando aplicações de tempo real. O protocolo é híbrido e foi desenvolvido com base na diferenciação de classes de serviço, na localização do móvel dentro da infra-estrutura das redes e em uma função de decisão de *handover vertical*. Os resultados mostram que a proposta alcança desempenho significativo, maximizando a utilização dos recursos disponíveis para as células WLAN e atendendo a exigência de QoS dos usuários.

Um esquema para a seleção da interface de conexão é proposto em [Chowdhury et al. 2009]. Esse esquema é constituído de um algoritmo para seleção de interface e um algoritmo para o controle de admissão, que consideram o consumo de bateria do móvel em um ambiente de redes sobrepostas. O consumo de bateria do móvel e os níveis de QoS e QoE medidos nas interfaces de conexão, são variáveis importantes consideradas pelo algoritmo de seleção de interface proposto. Os autores ainda utilizam o MIH para auxiliar a sinalização para a escolha da interface de conexão. Esse trabalho é interessante, visto que a seleção da interface é feita com base na visão do usuário em relação às redes que tem à disposição.

A alocação e o escalonamento de recursos é uma atividade importante para alcançar a quali-

dade de serviço na integração entre redes sem fio. Ela, como visto, fornece informações importantes para o controle de admissão, sendo o principal parâmetro para que o CAC decida sobre o aceite ou descarte de uma determinada requisição de conexão.

Os trabalhos que propõem soluções para essa questão, estão intimamente ligados com o CAC e, geralmente, abordam a teoria das filas como principal ferramenta para produzir seus resultados. Desta forma, em [Song et al. 2007b], os autores apresentam um *framework* para a gerência de recursos dentro de um cenário de integração de redes WLAN e 3G, usando um acoplamento fraco. Nesse *framework*, regras para balanceamento de carga são propostas para otimizar o uso do conjunto de recursos oferecidos pelas redes. Para tanto, uma estratégia de controle, baseada em duas fases, é desenvolvida como parte integrante das políticas de balanceamento de carga. Nessa estratégia, durante a fase de admissão, é usada uma atribuição de chamada para fornecer uma estatística de qualidade do serviço garantido e, durante a fase de serviço de tráfego, uma estratégia denominada de "*dynamic vertical handoff*" é usada para minimizar as variações de desempenho dos serviços. Os autores apresentam resultados numéricos para demonstrar que a solução proposta é melhor do que os esquemas comparados.

Em [Liu et al. 2007], os autores apresentam um novo esquema de gerenciamento de recursos, com garantias de QoS. Como parte da proposta, um controle de admissão conjunto é apresentado para suportar arquiteturas de redes, tipos de serviços, características de mobilidade e níveis de QoS diferentes. Para minimizar o congestionamento de tráfego, foi desenvolvido um algoritmo de busca e substituição de canal (oCSR) e técnicas para realizar o *handover* passivo, com o fim de balancear o tráfego total entre as redes envolvidas na integração, para reduzir o custo de manutenção de QoS e ponderar as probabilidades de bloqueio. Os autores analisam os resultados com a utilização de modelos analíticos e simulações, concluindo que o esquema conjunto proposto é mais eficiente do que os demais esquemas disjuntos propostos na literatura.

O CAC tem uma função muito importante no processo de manutenção de QoS na integração de redes sem fio. Ele funciona como um "porteiro", que decide quem deve entrar ou não em uma determinada rede. No entanto, esse "porteiro", não rejeita as conexões sem critérios e objetivos. Ele se baseia, principalmente, na capacidade de alocar os recursos para aquela conexão solicitada, desde que não falem recursos para as conexões já em andamento.

Além disso, como já foi visto, o CAC deve possuir uma integração com os procedimentos de seleção de rede, sendo o seu resultado usado por tais procedimentos, visando a otimização do *handover*. O CAC é composto de procedimentos complexos, mas que devem ser tratados com simplicidade, com o objetivo de tornar possível e viável sua implementação em contextos reais.

Neste sentido, um estudo sobre o impacto da mobilidade e do VHO é apresentado em [Ali and Pierre 2009], considerando uma proposta de controle de admissão para tráfego de voz, sob a ótica de probabilidades de bloqueio de chamadas. Primeiro, os autores apresentam um modelo analítico para a proposta. Depois, é mostrado que o algoritmo proposto para executar um *soft handover* orientado à disponibilidade de recursos (RESHO) apresenta melhores resultados que os algoritmos de *handover* tradicionais existentes em WLANs, que são baseados apenas na

intensidade do sinal medido na camada física (STSHO). Os autores observaram que a redução da probabilidade de bloqueio de novas chamadas originadas na rede 3G, usando o algoritmo proposto, apresenta uma eficiência muito superior aos algoritmos tradicionais quando a velocidade média das estações é baixa.

Em [Makris and Skianis 2008], os autores propõem um algoritmo de Controle de Admissão baseado em um esquema de reserva de largura de banda com multi-limites. O principal objetivo da proposta não é desenvolver um algoritmo de CAC ótimo, mas sim investigar os parâmetros de mercado, de tal forma que o mecanismo de CAC proposto possa ser flexível o suficiente para poder manter sua eficiência na maioria dos cenários de NGMNs.

Uma proposta de um sistema de integração entre WLAN e redes celulares, com possibilidade de compartilhamento de recursos é apresentada por [Stevens-Navarro and Wong 2007]. Nessa proposta, são analisados dois algoritmos de controle de admissão, conhecidos como: *cutoff priority* (CP) e *fractional guard channel* (FGC). Os algoritmos analisados consideram novos pedidos de conexão e pedidos de conexão gerados por *handovers* horizontais ou verticais. Neste cenário, se uma rede não pode aceitar o pedido de conexão de um móvel, o pedido é então encaminhado automaticamente para a outra rede, de acordo com o compartilhamento dos recursos. Os autores propõem, então, um modelo analítico capaz de determinar a probabilidade de bloqueio de uma nova conexão, facilitando assim, a atuação dos algoritmos de CAC no sentido de re-encaminhar, pro-ativamente, os novos pedidos de conexão a outras redes. Os resultados apresentados mostram a importância da possibilidade de compartilhamento de recursos entre as redes.

Os autores em [Seok et al. 2007] apresentam um algoritmo para o controle de admissão em redes WLAN e 3G integradas, baseado em duas fases distintas. A solução apresenta duas políticas diferentes para o CAC, uma para cada tipo de rede envolvida na integração, propondo otimizar o uso dos recursos oferecidos. Segundo os autores, com o uso do esquema proposto, as probabilidades de bloqueio e descarte de conexões de voz e dados são reduzidas, tendo comprovado isso via simulação.

Em [Wang et al. 2009], os autores apresentam uma proposta de algoritmo de CAC baseado em duas variáveis: a velocidade do móvel e o tipo de serviço utilizado. Os autores mostram que sua proposta apresenta melhor resultado do que o algoritmo de CAC conhecido como **WLAN-First**. O algoritmo proposto nesse trabalho também apresenta suas ações baseadas em uma visão do usuário e não da rede.

Com o intuito de controlar a admissão e a reserva de recursos em NGMNs, [Dias et al. 2010] apresentam um *framework* para ajudar o controle de admissão e reserva de recursos em redes móveis de próxima geração. A proposta apresenta um controle de admissão de chamada distribuído com reserva de recursos, usando as informações de posição dos móveis para prever o seu movimento, determinando a aceitação dos pedidos de conexão. Estes pedidos podem ser feitos a uma determinada célula, baseados na probabilidade de movimentação do móvel e nos recursos necessários para a conexão.

Foram analisadas, ainda, as propostas de controle de admissão encontradas em

[Fernandez et al. 2009], [Lee et al. 2009a], [Song et al. 2005], [Song et al. 2007a], [Song and Jamalipour 2008] e [Monteiro and Gondim 2009] que tratam os seus esquemas, como parte de uma arquitetura de QoS, considerando um cenário que envolve o acoplamento entre as redes. Isto reflete a necessidade, nesses casos, de incluir os mecanismos propostos no núcleo das redes existentes, aumentando assim a complexidade e o custo de implantação da solução. Isto se deve, em parte, ao fato de que estes esquemas têm por objetivo, permitir o controle das redes, impedindo novas conexões que impactariam na qualidade dos serviços oferecidos aos usuários já admitidos.

Desta forma, os sistemas de CAC foram desenvolvidos para garantir o acesso à rede por parte dos usuários, colocando os recursos à disposição dos mesmos, garantindo a satisfação na utilização. Assim, as informações sobre o número de conexões ativas, canais e largura de banda disponíveis são comumente usadas por mecanismos de CAC, reforçando a necessidade desses controles serem feitos por um operador da rede.

Além disso, soluções de controle de admissão, baseados em uma visão do usuário em relação ao serviço recebido por uma rede ou outra, têm sido abordados em [Yamada et al. 2007], [Baldo 2009], [Uemura et al. 2008] e [Hyun et al. 2010]. Estes trabalhos usam métricas de QoE para aferir a qualidade da conexão oferecida por uma rede sob a ótica de quem está recebendo aquele serviço, onde pode ser citado o trabalho [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010a], que inclusive foi a base para que a solução de seleção de rede apresentada nesta tese, fosse construída.

Por exemplo, em [Yamada et al. 2007] e [Baldo 2009], estruturas de controle de admissão e alocação de recursos são propostas baseadas em informações da QoE medida pelo móvel durante a recepção dos serviços. Os autores em [Yamada et al. 2007] apresentam uma arquitetura que utiliza o protocolo RTCP para efetuar as coletas de dados RTP, visando verificar a qualidade da recepção dos *streams* de voz recebidos.

Por outro lado, [Baldo 2009] apresenta um esquema de controle de admissão, baseado tanto em conexão (camadas 1 e 2) quanto em roteamento. Esse esquema de RAC (*Route Admission Control*), tem o objetivo de inserir um nível a mais de CAC na rede, numa tentativa de proporcionar melhor qualidade para usuários de redes que possuam alterações constantes em sua topologia (redes MANETs).

Os trabalhos apresentados em [Uemura et al. 2008] e [Hyun et al. 2010] mostram alternativas e possibilidades da criação de estratégias de Controle de Admissão e Seleção de Redes, que podem surgir com o desenvolvimento de técnicas de medidas de QoE dentro do dispositivo móvel.

Com a crescente tendência de convergência das redes comutadas por circuitos com as redes comutadas por pacotes, usando o protocolo IP como padrão para a camada 3, trabalhos têm sido desenvolvidos considerando o controle de admissão de conexões IP [Wright 2007], [Statovci-Halimi 2008], [Yu 2009], [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010a] como uma ferramenta para a decisão de *handover*, associadas às variáveis de QoE mapeadas em função das variáveis de QoS [Du et al. 2009], [Leroux et al. 2009], [Kim et al. 2008].

2.5 Conclusão do Capítulo

Embora existam vários aspectos a serem tratados durante a integração de redes sem fio heterogêneas, este trabalho concentrou-se em dois problemas: o determinado pela mobilidade IP e o determinado pelo processo de seleção de redes. As duas soluções apresentadas são complementares e, por isso, foram integradas em um ambiente, também descrito neste trabalho.

Capítulo 3

O MIP Especializado - SMIP

3.1 Introdução

Em alguns trabalhos encontrados na literatura, a integração entre redes heterogêneas, exige a participação efetiva de mecanismos que possam gerenciar a mobilidade de terminal e de sessão. Em especial, no caso da integração entre redes comutadas por pacotes e redes celulares, a opção por homogeneizar a camada de rede com o uso do protocolo IP, vem caracterizando redes conhecidas como ALL-IP. Neste sentido, tanto as opções tecnológicas (MIH e IMS) quanto as arquiteturas e *frameworks*, têm considerado o uso efetivo do protocolo IP e suas variações.

O MIP (*MobileIP*), como uma variação do protocolo IP voltada para a gerência de mobilidade, tem sido bastante estudado por pesquisadores no mundo todo. Grupos de trabalho foram formados para propor melhorias ao MIP, gerando variações conhecidas como HMIP (*hierarchical MIP*), FMIP (*fast MIP*), F-HMIP (*Fast-HMIP*) e PMIP (*Proxy MIP*).

O protocolo IP possui, atualmente, duas principais versões em uso: a versão 4 (IPv4) e a versão 6 (IPv6). Embora existam alguns trabalhos que ainda tratam do MIP na versão 4 do protocolo IP, a grande maioria dos trabalhos mostram sua preocupação em apresentar soluções para o mobilidade IP sob a versão 6 do protocolo. Isto se deve ao fato de que o IPv6 possui alguns recursos nativos referentes à mobilidade, a exemplo da possibilidade de auto-configuração de CoA (*care-of-address*) e das mensagens BU (*Bind Update*) diretamente com o CN (*Correspondent Node*), possibilitando a forma de funcionamento do MIPv6, conhecida como otimização de rota.

Assim, cada trabalho estudado apresenta uma alternativa para reduzir um ou mais tempos envolvidos com a operação deste protocolo. Esta preocupação caracteriza a necessidade de reduzir essa latência a limites que permitam ao usuário experimentar uma transição sem discontinuidades percebidas em sua aplicação.

Este capítulo apresenta uma proposta nova de MIP, o SMIP (*Specialized MIP*), que tenta, como diversos outros trabalhos, reduzir o tempo de discontinuidade experimentado pelo móvel durante sua migração entre redes. As bases para o estudo aqui apresentado, foram mostradas em [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010a], [Monteiro and Gondim 2009],

[de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010b],

[Monteiro and Gondim 2010b],

[Monteiro et al. 2010], [de Castro Monteiro and de Lira Gondim].

3.2 Análise da Latência MIP

- **Trabalhos Relacionados** Alguns trabalhos, como os comentados no capítulo 2, apresentam propostas concretas e eficientes para o uso do MIP e suas variações em ambientes de integração e interoperação de redes. No entanto, foram elencados quatro trabalhos que formulam propostas para analisar a latência daqueles protocolos em determinados ambientes de integração. A análise desses trabalhos serviu como base para a produção do modelo de análise da latência da solução SMIP e seus resultados foram confrontados com os outros três, numa tentativa de comprovar a eficiência da solução proposta, dentro do ambiente considerado.

Em abril de 2008, Ki-Sik Kong, Wonjun Lee, Youn-Hee Han, Myung-Ki Shin e HeungRyeol You apresentaram um artigo, publicado no *IEEE Wireless Communications*, que propõe um modelo determinístico para a análise do atraso provocado pela atuação do MIP e algumas de suas variações. Esse artigo, intitulado “*Mobility Management for All-IP Mobile Networks: Mobile IPv6 vs Proxy Mobile IPv6*” [Kong et al. 2008b], apresenta conceitos do funcionamento das variações de MIP, visando demonstrar que variações baseadas na rede são mais eficientes que as baseadas no *host*, devido às características e necessidades de sinalização.

Os mesmos autores apresentaram, no ICC de 2008, um artigo intitulado *Handover Latency Analysis of a Network-Based Localized Mobility Management Protocol* [Kong et al. 2008a]. Embora esse artigo tenha uma semelhança bastante grande com o primeiro, os autores propõem uma nova nomenclatura para os tempos, além de apresentarem a análise da variação FMIP em suas formas de operação preditiva e reativa. As mesmas considerações de cenário foram adotadas.

Os autores conduzem seu relatório, nos dois trabalhos, no sentido de mostrar as comparações funcionais entre o PMIP e as demais variações de MIP baseadas no *host*, concluindo com uma análise quantitativa de cada um dessas variações do protocolo, que destaca o PMIP como o mais eficiente entre todos os analisados.

No entanto, os autores chegaram aos seus resultados considerando um ambiente específico e deixaram de observar alguns detalhes importantes para que uma solução MIP, baseada na rede, funcione entre redes heterogêneas, inseridas em domínios administrativos diferentes. Dentre estes detalhes, o mais importante deles reside no fato de que, para que possa haver sinalização MIP independente do móvel (apenas envolvendo sinalização dentro da infra-estrutura das redes), o núcleo das redes envolvidas deve estar interoperando, quer através de tecnologias como IMS ou MIH, quer por acordos de nível de serviço, os conhecidos SLAs (*Service Level Agreements*).

Apenas no caso onde os núcleos das redes estão integrados, é possível ter uma sinalização MIP eficiente, que envolva apenas elementos da infra-estrutura das redes, considerando que os mesmos precisam interoperar, tornando imperativa a premissa de que todas as redes envolvidas

devam estar sob um mesmo domínio administrativo, visto que alterações significativas no núcleo das mesmas são requeridas, confinando a solução ao uso de arquiteturas fortemente acopladas. No entanto, redes onde seus núcleos não estão integrados, tornam mais difícil a manutenção de conexões IP após o deslocamento do usuário, não sendo suficiente que a sinalização ocorra apenas entre elementos de suas infra-estruturas, necessitando, portanto, da assistência do móvel durante a sinalização MIP.

Portanto, os dois casos apresentam problemas sérios de operacionalização da sinalização MIP baseado apenas na infra-estrutura das redes (proposta do PMIP), levando em consideração que os modelos de negócio das prestadoras de telecom têm se apresentado resistentes à troca de informações de seus usuários umas com as outras, além de apresentarem resistências à alterações significativas no núcleo de suas redes, confinando soluções que tenham estas premissas de operação, aos testes de bancada e simulações.

O modelo determinístico proposto pelos citados autores para contabilização do tempo que um móvel leva entre o momento em que inicia a negociação para deixar a rede de origem e a sua re-conexão IP na rede destino, embora simples, é bastante preciso, considerando o cenário escolhido. Desta forma, este cenário é mostrado na figura 3.1, visando o entendimento do que foi considerado e proposto pelos autores.

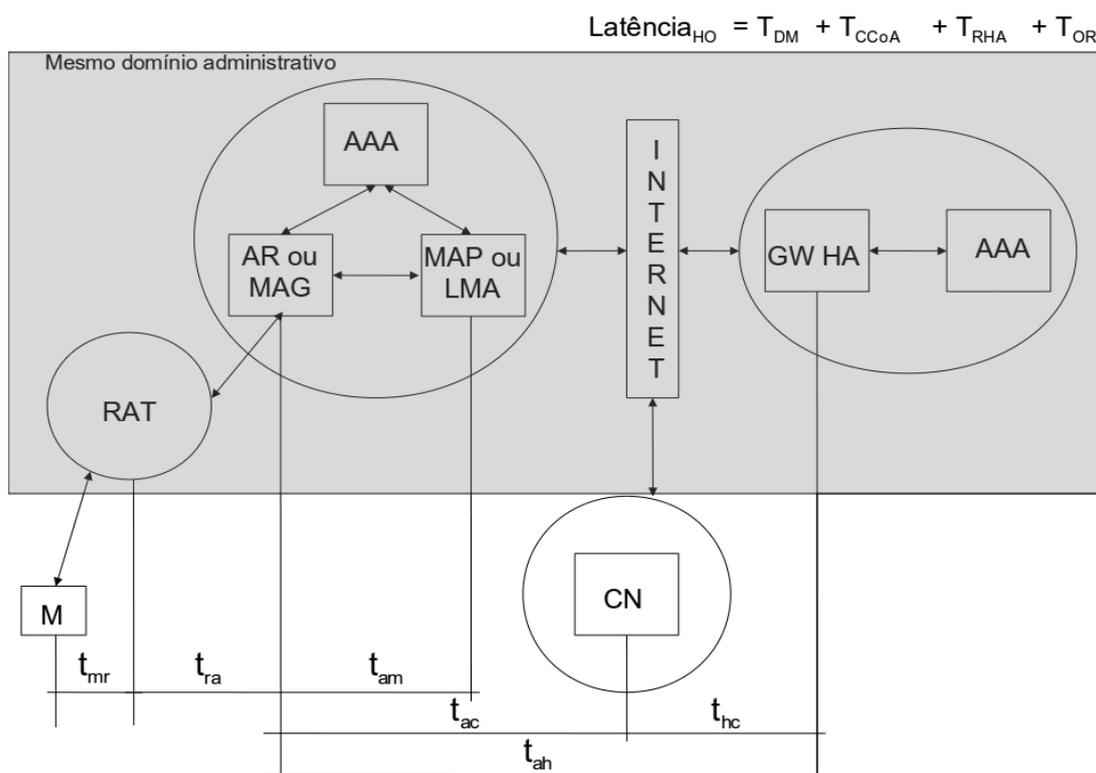


Figura 3.1: Ambiente usado por [Kong et al. 2008b]

Onde:

1. t_{mr} : atraso entre o móvel e o AP (ou APs) que gera(m) a RAT;

2. t_{ra} : atraso entre a RAT e o AR (no caso do HMIP) ou entre a RAT e o MAG (no caso do PMIP);
3. t_{am} : atraso entre o AR e o MAP (no caso do HMIP) ou entre o MAG e o LMA (no caso do PMIP);
4. t_{ah} : atraso entre AR (HMIP)/MAP (PMIP) e o HA;
5. t_{ac} : atraso entre AR (HMIP)/MAP (PMIP) e o CN;
6. t_{hc} : atraso entre o HA e o CN (no caso do MIP).

Então, para encontrar os resultados apresentados em relação às latências de cada uma das extensões MIP estudadas, os autores consideram:

1. Os mais conhecidos protocolos de gerência de mobilidade IPv6 baseados em *host* (MIP, FMIP e HMIP) e o protocolo PMIP, que é baseado exclusivamente na infra-estrutura de rede;
2. Apenas um domínio administrativo. Isto quer dizer que: a) para a análise do HMIP, apenas um MAP e um AR foram considerados; b) para análise do PMIP, apenas um LMA e um MAG foram considerados; c) para análise do MIP e do FMIP, apenas um FA e um HA foram considerados. Isso significa que na figura acima, AR/MAG e MAP/LMA, na análise do MIP e do FMIP, são considerados como a entidade FA, enquanto a dupla de entidades AR/MAP formam um domínio MAP, durante a análise do HMIP e a dupla MAG/LMA formam um domínio PMIP;
3. Como latência de *handover*, medida na camada 3, a soma simples dos tempos de detecção de movimento (T_{MD}), de configuração de endereço (T_{DAD}), de autenticação (T_{AAA}) e de atualização de localização (T_{REG}). Assim, o atraso do *handover* pode ser expresso por

$$L_{HO} = T_{MD} + T_{DAD} + T_{AAA} + T_{REG} \quad (3.1)$$

No caso desta tese, os tempos propostos pelos autores são mapeados como segue:

- $T_{MD} = T_{DM}$;
 - $T_{DAD} = T_{CCoA}$;
 - $T_{REG} = T_{RHA} + T_{OR}$, onde T_{RHA} é o tempo gasto pelo móvel para realizar seu registro no HA e T_{OR} é o tempo gasto para que o HA realize o roteamento necessário para entregar os datagramas ao móvel após seu deslocamento;
4. Para efeito de contabilização do tempo gasto para detectar o movimento do móvel, foi considerado na análise, o tempo de recepção de uma mensagem RA, sem a devida transmissão de um RS. Sendo assim, de acordo com a RFC do MIPv6, todo roteador com suporte

a este protocolo, deve possuir, como funcionalidade, a possibilidade de configuração das variáveis conhecidas como: $MinRtrAdvInterval$ e $MaxRtrAdvInterval$, que determinam os tempos mínimo e máximo para a transmissão de um RA, sem a solicitação RS. Sendo assim, o tempo médio entre essas mensagens RA pode ser definido como:

$$(MinRtrAdvInterval + MaxRtrAdvInterval)/2.$$

Desta forma, para esta análise, o valor médio de T_{DM} para os protocolos MIP e HMIP foi considerado como a metade do tempo médio usado para transmitir uma mensagem RA, definido em (3.2)

$$T_{DM} = (MinRtrAdvInterval + MaxRtrAdvInterval)/4 \quad (3.2)$$

5. O tempo T_{DAD} é considerado, neste modelo, seguindo as especificações MIPv6. Isso significa que, ao se movimentar, o móvel recebe um novo prefixo de rede IP, com o qual o mesmo irá montar o seu novo CoA. Isso feito, o móvel não pode utilizar tal CoA, sem antes verificar a validade do mesmo. Para isso, o processo DAD é iniciado. Desta forma, T_{DAD} (no MIP e HMIP), pode ser definido como a multiplicação simples entre $RetransTime$ e $DupAddDetectTransmits$, conforme

$$T_{CCoA} = (RetransTime \times DupAddDetectTransmits) \quad (3.3)$$

6. Para todos os protocolos, o móvel pode ter acesso a um serviço qualquer de rede somente após ser autenticado pelo servidor AAA. Sendo assim, o atraso causado por essa autenticação foi considerado igual para todos os protocolos e desconsiderados para efeito de análise;
7. Todos os tempos considerados na análise são considerados simétricos;
8. Os atrasos causados por filas e pelo processamento em cada entidade não foram considerados;
9. A análise do tempo T_{REG} foi realizada individualmente para cada protocolo, considerando que este tempo, diferente dos T_{DM} , T_{CCoA} e T_{AAA} , varia de acordo com a estrutura do protocolo em questão e, para esta análise, foi decisivo para apontar o protocolo com o melhor desempenho;

Considerando estas premissas, os autores então apresentam a análise do atraso para cada um dos protocolos estudados, apontando para o melhor desempenho do PMIP:

1. Para o MIPv6:

$$T_{REG} = 6(t_{mr} + t_{ra}) + 4t_{ah} + 2(t_{ac} + t_{hc}) \quad (3.4)$$

Devido a simetria prevista pelo modelo, a soma de todos os tempos envolvidos com o registro entre o móvel e o HA (t_{mr} , t_{ra} e t_{ha}), com o registro do CN (t_{mr} , t_{ra} e t_{ac}) e com a atualização de rotas (t_{mr} , t_{ra} , t_{ah} e t_{hc}), foram considerados em dobro para contabilizar o T_{REG} .

Assim:

$$T_{REG} = 2(t_{mr} + t_{ra} + t_{ha}) + 2(t_{mr} + t_{ra} + t_{ac}) + 2(t_{mr} + t_{ra} + t_{ah} + t_{hc}) \quad (3.5)$$

$$T_{REG} = 6(t_{mr} + t_{ra}) + 4t_{ah} + 2(t_{ac} + t_{hc}) \quad (3.6)$$

2. Para o HMIPv6:

$$T_{REG} = 2(t_{mr} + t_{ra} + t_{am}) \quad (3.7)$$

isso porque HMIPv6 não precisa realizar o registro do CN, nem tão pouco precisa gastar tempo com atualização de rotas, desde que a movimentação do móvel aconteça dentro do mesmo domínio MAP, fato que foi considerado durante esta análise.

3. Para o PMIPv6:

$$L_{PMIPv6} = T_{REG} + t_{mr} + t_{ra} \quad (3.8)$$

onde:

$$T_{REG} = 2t_{am} \quad (3.9)$$

Assim:

$$L_{PMIPv6} = 2t_{am} + t_{mr} + t_{ra} \quad (3.10)$$

isso porque o PMIPv6 também não requer os tempos T_{DM} e T_{CCoA} , desde que o móvel se desloque dentro do mesmo domínio LMA. Os valores de t_{mr} e t_{ra} não estão duplicados porque se referem à entrega de dados do MAG ao móvel, portanto os tempos são contabilizados apenas em uma direção.

Em janeiro 2007, Hanane Fathi, Shyam Chakraborty e Ramjee Prasad, publicaram no *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, o artigo "Optimization of Mobile IPv6-Based Handovers to Support VoIP Services in Wireless Heterogeneous Networks" [Fathi et al. 2007] que mais tarde (2009), faria parte de um capítulo do livro "Voice over IP in Wireless Heterogeneous Networks: Signaling, Mobility and Security", dos mesmos autores [Fathi et al. 2009]. Neste trabalho, os autores também abordam a análise da latência provocada pelo protocolo MIPv6 e suas variações, considerando um modelo determinístico semelhante ao utilizado nos dois trabalhos já apresentados acima. Também nesse trabalho, o modelo não considera os tempos envolvidos com os procedimentos de AAA existentes durante o **handover**, mas apresenta resultados das análises para MIPv6, HMIPv6 e FMIPv6 em seus modos preditivo e reativo, diferenciando dos demais por apresentar a análise da latência também do MIPv4. Todas as análises foram baseadas no cenário ilustrado na figura 3.2.

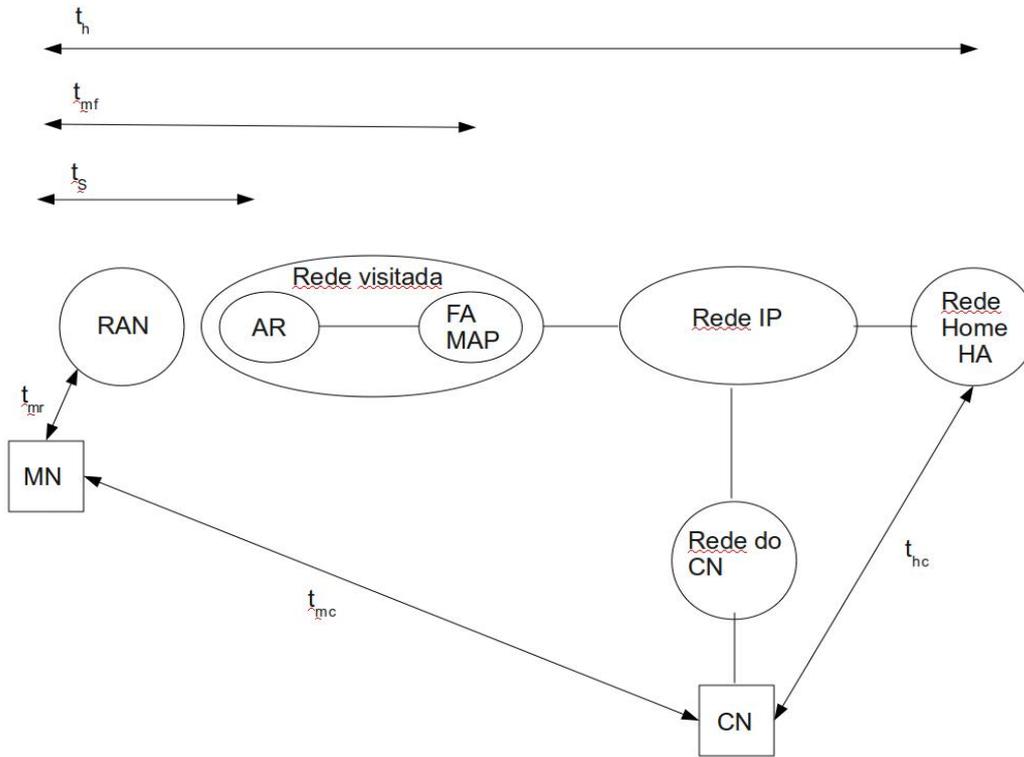


Figura 3.2: Ambiente usado por [Fathi et al. 2009]

Segundo os autores, considerando as mesmas premissas feitas pelos outros autores e trabalhos analisados, as latências para cada um dos protocolos seriam encontradas através das equações:

- MIPv4:

$$L_{MIPv4} = 2t_{mf} + 2t_h \quad (3.11)$$

- MIPv6

$$L_{MIPv6} = 2t_s + 4t_h + 2t_{mc} + 2t_{hc} \quad (3.12)$$

- HMIPv6

$$L_{HMIPv6} = 2t_s + 2t_{mf} \quad (3.13)$$

considerando o **handover** dentro do domínio do mesmo MAP. Se for considerado o **handover** entre MAPs distintos, a latência para esse protocolo pode ser expressa por:

$$L_{HMIPv6} = 2t_s + 2t_{mf} + 4t_h + 2t_{mc} + 2t_{hc} \quad (3.14)$$

- FMIP-pre:

$$L_{FMIP-pre} = 5t_s + 2t_{no} \quad (3.15)$$

- FMIP-rea:

$$L_{FMIP-rea} = 3t_s + 3t_{no} \quad (3.16)$$

3.3 Arquitetura SMIP

A proposta do SMIP consiste de uma nova e *opensource* implementação do protocolo MIP. Embora existam muitas variações do MIP, todas elas têm uma base de sinalização comum, que pode ser classificada de maneira geral em: preditiva e reativa. No caso do MIPv4, apenas a reativa está presente na definição do protocolo, onde o início da sinalização depende da detecção de movimentação do dispositivo, começando depois que o móvel perdeu a conexão com sua rede atual, caracterizando o início do processo com o registro do novo CoA do móvel no seu respectivo HA. Essa forma, também conhecida como *post-registration*, embora pouco eficiente, é a única forma possível de ação do MIP, quando o móvel possui apenas uma *interface* aérea e que, portanto, pode estar conectado em apenas uma rede de cada vez.

Por outro lado, a forma preditiva de atuação do MIP, também conhecida como *pre-registration*, permite ao móvel efetuar seu registro de novo CoA, antes de perder a conexão IP atual, facilitando assim, a sua migração entre as redes, visto que o mesmo estará conectado a duas ou mais ao mesmo tempo, podendo possuir vários CoAs para registro. Esta forma de ação do MIP pressupõe a disponibilidade de mais de uma *interface* de conexão no móvel, o que lhe daria a funcionalidade de estar conectado a mais de uma rede, podendo assim antecipar seu registro de CoA.

Todos os trabalhos envolvendo o uso do MIP como protocolo de gerência de mobilidade, mostram a preocupação na redução da latência deste protocolo durante a mobilidade dos dispositivos entre as redes envolvidas. Considerando que o MIP precisa desenvolver as tarefas de: i) Detecção de Movimento (DM); ii) Configuração de CoA (CCoA); iii) Registro no *home Agent* (RHA); e iv) Otimização de Roteamento (OR), pode ser concluído que o tempo estimado para a latência deste protocolo seja dado pela soma dos tempos gastos para a execução de cada uma destas tarefas, que caracterizam o conjunto de sinalização do MIP. Logo essa latência (L) pode ser expressa por

$$L = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.17)$$

onde T_{DM} é o tempo gasto para que o móvel e/ou a rede percebam que houve o deslocamento e que é necessário iniciar a sinalização MIP. T_{CCoA} é caracterizado pelos tempos gastos com a associação IP do móvel com a rede estrangeira, caracterizando a composição de seu CoA. O T_{RHA} é o conjunto de tempos gastos para que o registro do novo CoA seja feito no HA, enquanto que T_{OR} é o somatório dos tempos gastos para realizar as operações de re-roteamento, quer seja através de tunelamento (no caso do IPv4) quer seja através de otimização de rotas (no caso do IPv6).

No MIPv6 e todas as suas variações, as duas formas de atuação estão presentes sempre em função de reduzir a latência provocada pelo protocolo durante o *handover*. Em alguns casos, é usada uma combinação das formas, visando sempre aumentar a eficiência do protocolo. A sinalização base do MIP, envolvida na operação do protocolo, é mostrada na figura 3.3, onde são observados diferentes tempos (T_{DM} a T_{OR}) relacionados ao fluxo destas mensagens.

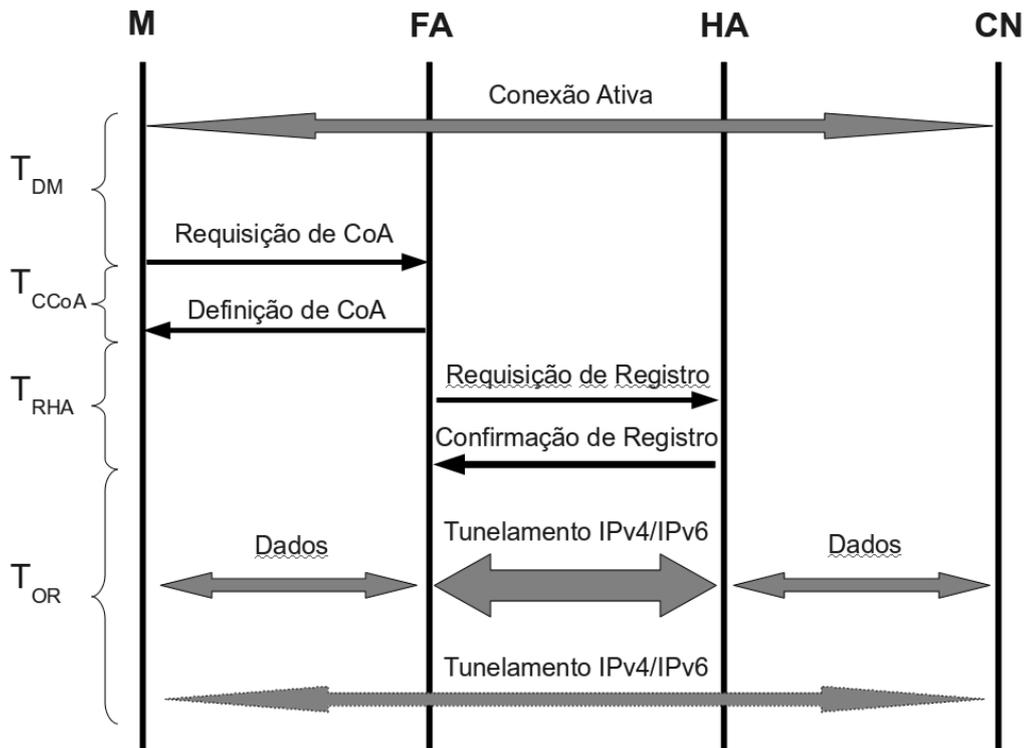


Figura 3.3: Sinalização MIP

A sinalização MIP considera as fases de atualização de localização e de re-roteamento. Nestas fases, mensagens são trocadas entre o móvel, o HA e o FA, visando identificar a movimentação e efetuar o tunelamento entre FA e HA após o registro do novo endereço IP do móvel no FA. Assim, todo o tráfego destinado ao móvel é recebido pelo HA e encaminhado ao FA, usando o túnel criado. Além disso, todo o tráfego gerado pelo móvel é roteado para o CN diretamente, caracterizando assim, o roteamento triangular. No entanto, no MIPv6 e em suas variações, este túnel é criado diretamente entre o HA e o móvel ou ainda entre o CN e o novo CoA do móvel na rede visitada, visando a otimização do roteamento triangular.

Outra parte importante e crítica da sinalização MIP está na fase de descoberta de agentes. Nesta fase, o protocolo prevê que o móvel troque informações com os agentes estrangeiros disponíveis, com o intuito de efetuar o seu registro, quer de forma preditiva, quer de forma reativa.

Sendo assim, para reduzir o atraso causado por essa sinalização durante o *handover*, o SMIP assume as seguintes premissas:

1. O móvel possui n *interfaces* aéreas e todas estão disponíveis e com conexão ativa até a camada 3, permitindo que o móvel conheça todos os seus CoAs antecipadamente;
2. O registro dos CoAs disponíveis para o móvel são realizados assim que ele os obtém, deixando o T_{RHA} fora da contabilização da latência do protocolo, visto que aconteceu antes da necessidade de seu acionamento;

3. As redes experimentadas pelo móvel estão sobrepostas;
4. Que o tempo do *handover* é considerado a partir do momento em que o móvel deixa de receber datagramas IP de sua rede atual, até o momento onde ele começa a recebê-los novamente na rede visitada.

Desta forma, a proposta do SMIP age combinando as formas preditiva e reativa, para reduzir a latência do *handover*, reduzindo a sinalização MIP, ao tempo necessário para que o móvel solicite o estabelecimento do túnel entre o HA e seu CoA, já definido dentro da outra rede disponível, fazendo com que o HA realize a otimização de roteamento correspondente, visando entregar os datagramas pertencentes à chamada em andamento do usuário, através da rede estrangeira. Para isso, o móvel usa uma conexão **udp** com o HA, ao mesmo tempo que deixa toda a funcionalidade do protocolo totalmente independente do núcleo do sistema operacional, promovendo a facilidade de implantação em vários tipos de ambiente.

A fase de descoberta de agente é desconsiderada no SMIP, visto a premissa de um ambiente de redes sobrepostas e de terminais multi-modo, com *interfaces* de conexão aérea ativas até a camada 3, reduzindo a sinalização ao conjunto de tempos que formam o T_{OR} , responsável pelo atraso provocado pelo registro do novo CoA IP no HA e pela montagem de um túnel VPN entre o HA e este novo CoA, localizado na rede visitada. Desta forma, o HA pode trocar mensagens com o móvel em ambos os sentidos, evitando o roteamento triangular, conforme mostra a figura 3.4.

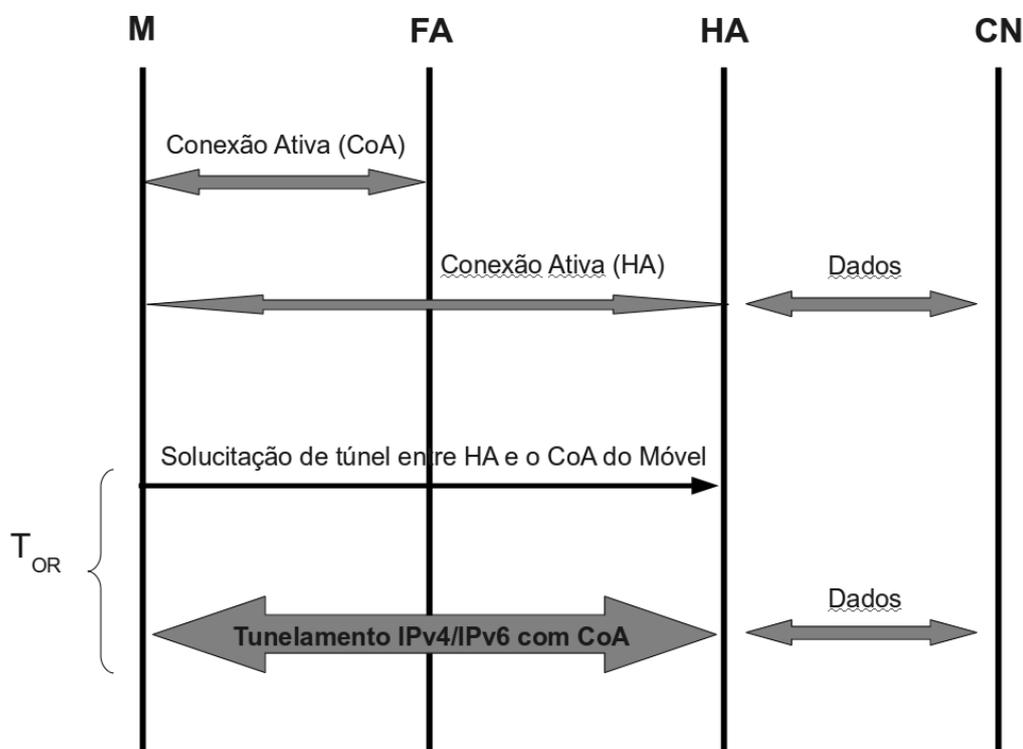


Figura 3.4: Sinalização SMIP

A solução apresenta característica preditiva, pois efetua a configuração e o registro prévio, no HA, de todos os endereços IP (CoA) fornecidos pelas redes visitadas, às respectivas *interfaces*, não havendo a necessidade de T_{CCoA} e T_{RHA} serem computados. Isto é possível devido à premissa de funcionamento do SMIP em redes sobrepostas e com dispositivos móveis com *interfaces* conectadas até a camada 3, com suas redes. Desta forma, a configuração e o registro de um novo CoA, atribuído a uma *interface* do móvel, é imediatamente registrado no HA, visando reduzir a necessidade de sinalizar durante a fase crítica do *handover*, que está compreendida entre a perda da conexão com a rede atual e a recuperação da mesma na nova rede. Pode ser observado que essa característica do SMIP faz com que o T_{RHA} não impacte na latência do protocolo, visto que acontece antes que qualquer procedimento referente a sinalização de movimentação ocorra.

Por outro lado, a característica reativa da solução pode ser observada devido ao estabelecimento do túnel para que os datagramas possam ser roteados diretamente entre o HA e o CoA da *interface* conectada à rede escolhida pelo móvel para efetuar o *handover*, que já estará registrado no respectivo HA, tornando o procedimento mais ágil, visto que o registro do CoA do móvel é feito com antecedência, sem a intermediação do FA, restando ao móvel apenas informar que deseja montar um túnel entre sua nova *interface* e o HA, para que o HA o faça e então roteie os datagramas diretamente ao móvel, usando este túnel.

Vale salientar que, embora o SMIP possa trabalhar sozinho, ele foi concebido para que dispositivos móveis consigam trocar de rede (dentro daquelas disponíveis), com pouco impacto nas aplicações em andamento (baixa latência). Para isso, é importante que o momento do *handover* seja escolhido considerando parâmetros mais próximos e controlados pelo usuário (ou pela sua aplicação). Sendo assim, o SMIP é uma solução especializada para o MIP, que precisa ter sua parte reativa acionada no momento certo, visando reduzir os impactos nos serviços oferecidos aos usuários. Para isso, o T_{DM} , apresentado na equação 3.17, também não é considerado na composição do tempo de latência do SMIP, visto que a detecção do deslocamento do usuário é feita por outra solução apresentada no capítulo 4 desta tese: o QoV-NS.

Note que o HA, ao receber dados com destino ao móvel, continuará a enviar estes dados para o móvel sem a alteração dos datagramas IP, visto que o móvel sempre terá o endereço IP de sua rede original, configurado em sua *interface* WLAN. Além disso, os datagramas encaminhados pelo móvel para o CN, a partir da nova rede, serão transmitidos com o endereço IP de sua rede original, indicando ao CN que o móvel ainda continua na rede onde a conexão foi iniciada.

Sendo assim, a latência do SMIP pode ser encontrada eliminando da equação 3.17, T_{DM} , T_{CCoA} e T_{RHA} , resultando em 3.18:

$$L = T_{OR} \tag{3.18}$$

3.4 Funcionamento e Análise da Latência SMIP

Para funcionar corretamente, o SMIP conta com dois grandes módulos, conforme mostrado na figura 3.5:

1. Módulo Servidor: Este módulo funciona no *gateway* da rede *home* do usuário (HA) e é responsável por manter processos ativos para receber conexões de módulos clientes, solicitando a configuração/desconfiguração de túnel entre o HA e o CoA do móvel. Além desta função, este módulo também recebe as mensagens de registro de CoA, vindas do móvel, efetuando seu respectivo registro;
2. Módulo Cliente: Este módulo funciona no dispositivo móvel e executa as seguintes funções:
 - Verificar as *interfaces* ativas e seus respectivos endereços IP;
 - Solicitar ao HA o registro de todos os endereços IP de suas *interfaces* ativas;
 - Ler semáforo usado pelo QoV-NS para indicar a detecção de movimento;
 - Solicitar ao HA a montagem/desmontagem de túnel entre HA e um de seus CoAs indicados pelo QoV-NS.

Neste capítulo, algumas questões sobre mobilidade foram desconsideradas, visando a simplificação e validação da proposta. Fatores como velocidade e distância do ponto de acesso foram considerados durante os testes do SMIP, integrados ao AMAM, ambiente proposto e apresentado no capítulo 5 desta tese.

Veja que o SMIP é composto de duas partes que se complementam, seguindo uma arquitetura cliente-servidor. A parte servidora do SMIP implementa o HA e deve funcionar no *gateway* da rede WLAN (ou em qualquer outra rede caracterizada como *home*). As principais funções da parte servidora são:

- Abrir um *socket* udp para receber as mensagens de montagem de túnel do móvel;
- Registrar os CoAs dos móveis;
- Montar e desmontar os túneis, usando o endereço IP do *gateway* HA e o CoA registrado pelo móvel;
- Re-rotear os datagramas para o túnel, visando entrega ao móvel, estando este em outra rede.

Por outro lado, a parte cliente possui as seguintes funções principais:

- Verificar os endereços IP das *interfaces* ativas;
- Informar ao HA sobre a ocorrência de um *handover*, solicitando ao mesmo a montagem do túnel com o novo CoA já registrado e o consequente roteamento dos datagramas por este túnel.

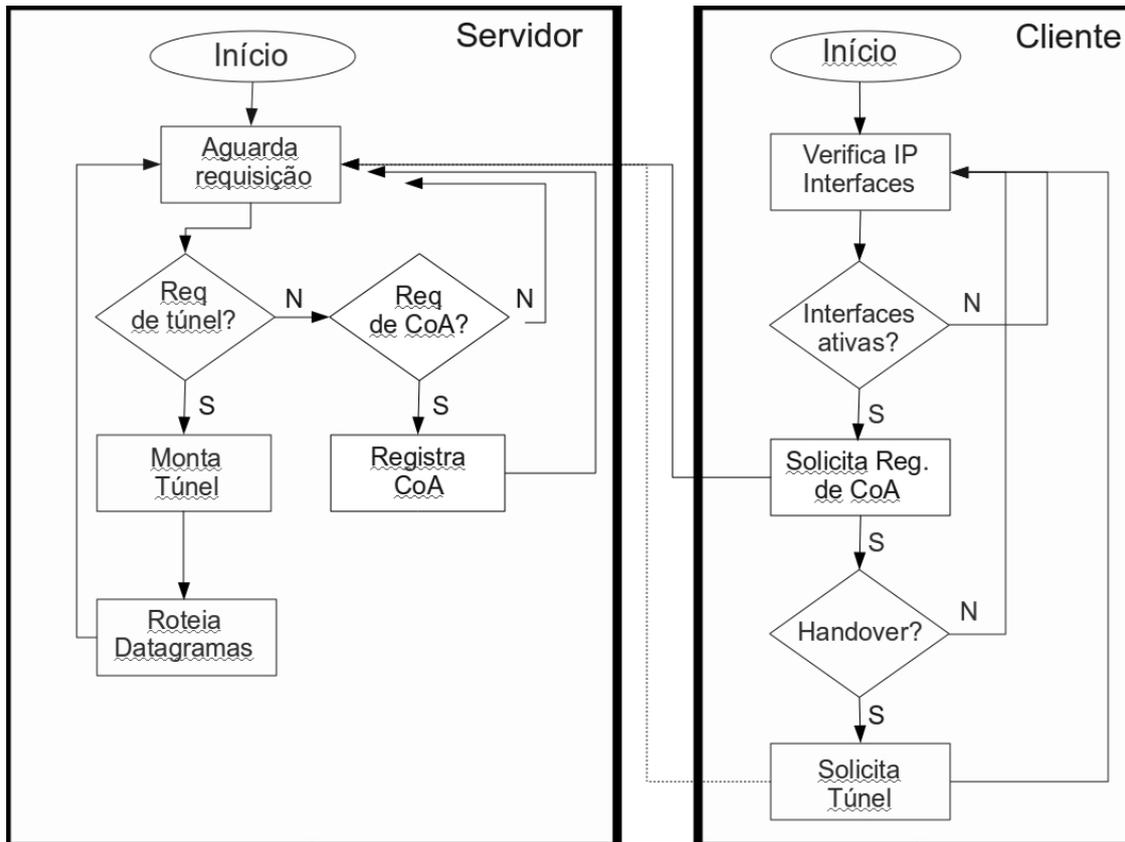


Figura 3.5: Funcionamento SMIP

Vale salientar que o SMIP trabalha sozinho, no que se refere às verificações de endereços IP associados às *interfaces* e às solicitações de montagem de túneis com o HA. No entanto, para iniciar os procedimentos de *handover* na camada 3, ele precisa ser informado desta necessidade, quer seja por aplicações residentes nas camadas inferiores, como no caso do MIH, quer por aplicações operando nas camadas superiores, como é o caso do QoV-NS, apresentado no próximo capítulo desta tese.

Baseado nos modelos apresentados por [Fathi et al. 2009] e [Kong et al. 2008b] descritos neste capítulo, foi formulada a análise numérica do SMIP, considerando o cenário usado para a realização dos testes da solução. Foi verificada a acurácia do modelo numérico proposto, com os resultados práticos encontrados nos experimentos realizados.

O cenário do SMIP, ilustrado em função das entidades e tempos envolvidos é apresentado na figura 3.6.

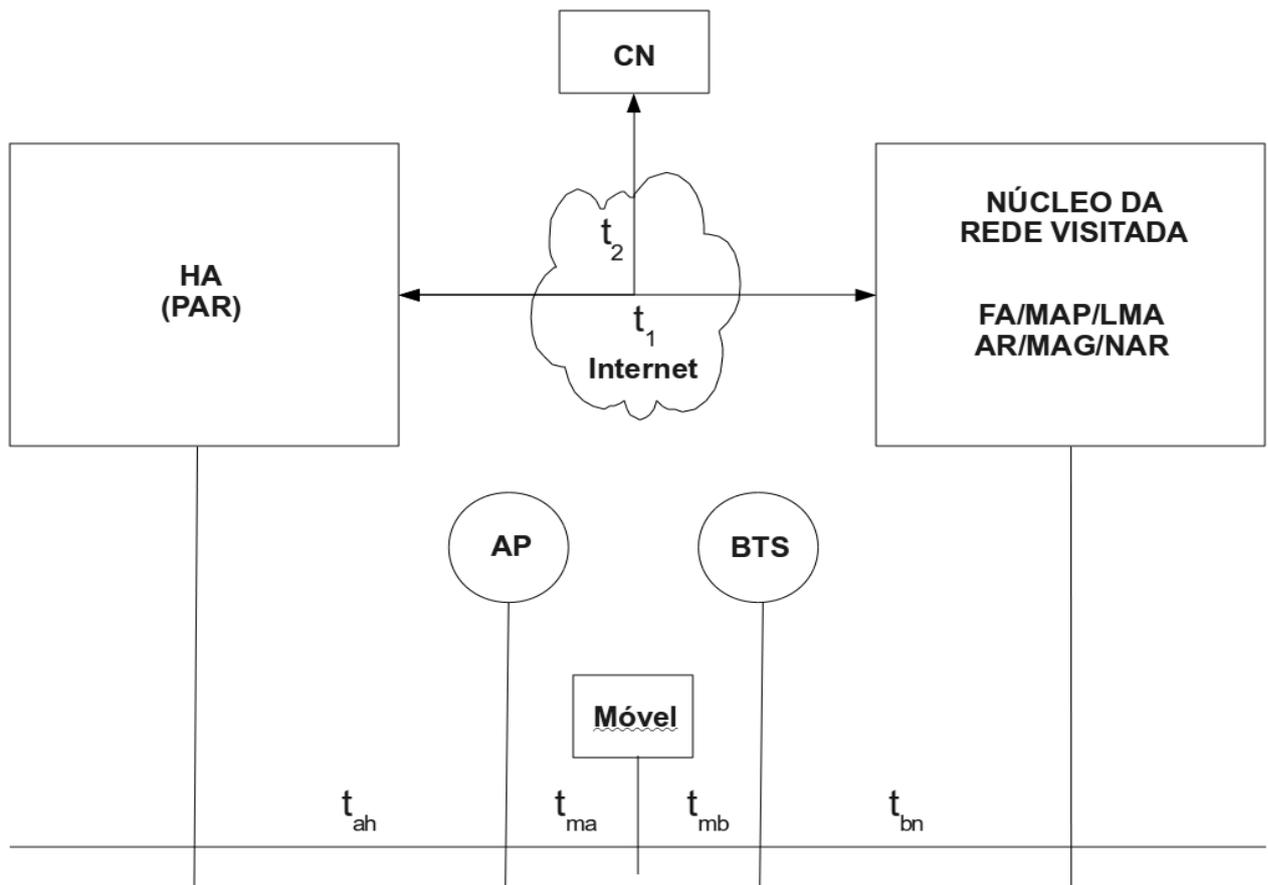


Figura 3.6: Cenário de Funcionamento SMIP

Onde:

- t_{ah} : atraso entre HA e o AP WLAN;
- t_{ma} : atraso entre o móvel e o AP WLAN;
- t_{mb} : atraso entre o móvel e a BTS 3G da rede visitada;
- t_{bn} : atraso entre a BTS e o núcleo da rede visitada (FA/MAP/LMA/AR/MAG/NAR);
- t_1 : atraso entre o HA e (FA/MAP/LMA/AR/MAG/NAR) via Internet;
- t_2 : atraso entre o CN e o HA.

Para a análise da latência do MIP e suas variações, incluindo o SMIP, foram consideradas as seguintes premissas:

1. Não existe apenas um domínio administrativo envolvido no ambiente de integração. Isso significa que as redes disponíveis para o móvel pertencem a operadoras diferentes e não interoperam. Este fato, embora muito comum, dificulta muito o emprego de variações do MIP como o HMIP e o PMIP, por exemplo;

2. O cenário escolhido nesta tese é outro, um pouco mais real. Enquanto os autores mostram um cenário genérico, numa tentativa clara de evidenciar a eficiência de cada protocolo, onde as regras definidas nas RFCs dos mesmos possam ser seguidas, o modelo proposto nesta tese, prevê uma situação de implantação possível, onde a mobilidade IP prevê que o controle acontece apenas na rede *home* do móvel, que no caso, é uma WLAN. As redes visitadas, que neste caso, foram consideradas como redes 3G (mas que podem ser qualquer outra), para efeito de análise, é uma caixa preta, onde o móvel pode apenas usar, sem a necessidade de alterar qualquer estrutura;
3. Para efeito de comparação, foi considerada a existência, dentro da rede visitada, das entidades definidas pelos protocolos MIP, HMIP, FMIP e PMIP, mesmo sabendo que todas elas, no sentido mais amplo e prático da solução, trabalham como um FA;
4. Embora os autores tenham considerado tempos referentes à participação do CN nos procedimentos MIP, o que traduz a incrível necessidade de seguir as regras dos protocolos, isto não foi feito nesta análise, visto que seria, em termos práticos, o mesmo que dizer que toda infraestrutura de rede com suporte à mobilidade IP, apenas forneceria acesso às funcionalidades do protocolo, se cada destino acessado pelo usuário tivesse suporte ao mesmo protocolo e fosse controlado pela mesma operadora de rede. Isto parece totalmente inviável;
5. No cenário proposto, o móvel é equipado com pelo menos duas *interfaces* de comunicação sem fio: uma aderente ao padrão WLAN e outra aderente ao padrão 3G. A arquitetura pode facilmente ser expandida, se o móvel possuir outras *interfaces*. Sendo assim, foi considerado que o móvel, ao ser iniciado, precisa estar dentro da área de cobertura de sua rede *home* (WLAN), para depois iniciar sua movimentação no sentido rede *home* → rede visitada → rede *home*. Em todos os casos, as *interfaces* do móvel estão ativas e com os procedimentos de conexão às redes, referentes às camadas 1 e 2, já realizados;
6. Foi utilizado, no modelo, o conceito de latência de *handover*, medida na camada 3; são considerados portanto, os tempos gastos para que o móvel detecte a melhor rede disponível, altere sua rota *default* para aderir à rede escolhida, efetue a atualização de localização em seu HA e então recupere o recebimento do fluxo de dados de sua conexão. Assim, consideramos a latência total como a soma simples dos tempos de detecção de rede (T_{DM}), de configuração de CoA (T_{CCoA}), de atualização de localização (T_{RHA}) e de retorno de conexão (T_{OR}). Desta forma, $L_{HO} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR}$;
7. O tempo para a detecção de movimentação (T_{DM}) foi considerado nesta análise, como o tempo gasto pelo móvel para verificar se a qualidade dos serviços de recepção de vídeos e a qualidade das redes estão de acordo com os limites estabelecidos. Como o objetivo deste modelo é avaliar a eficiência dos protocolos de mobilidade, foi considerado para cada um deles, o tempo de detecção de movimento (T_{DM}) constante e igual ao tempo gasto para que o móvel selecione a melhor rede disponível, não afetando assim, no resultado da análise;

8. O tempo referente à configuração de endereço (T_{CCoA}) também foi considerado constante durante a análise dos protocolos, visto que esse tempo é referente ao tempo usado para que o móvel configure seu CoA. Considerando que o dispositivo estará conectado a todas as redes disponíveis, ele já terá os devidos endereços IP atribuídos às suas *interfaces*;
9. A análise dos tempos T_{RHA} foi realizada individualmente para cada protocolo, considerando que este tempo varia de acordo com a estrutura do protocolo em questão e esta análise foi decisiva para apontar o protocolo com o melhor desempenho. O tempo T_{RHA} se refere ao tempo percebido pelo móvel para que o HA tome conhecimento de seu novo CoA, visando executar procedimentos de otimização de roteamento. Sendo assim, esse tempo pode ser generalizado como:

$$T_{RHA} = 2(t_{mb} + t_{bn} + t_1) \quad (3.19)$$

10. Para que o trabalho do MIP possa terminar, re-estabelecendo a conexão ativa do móvel, o tempo T_{OR} deve ser computado, visto que é um fator importante para que o *handover* possa ser considerado completo. Vale salientar que este tempo envolve todos os procedimentos de tunelamento e estabelecimento de rotas para dar continuidade à conexão ativa do usuário após a sua movimentação. Logo, além do tempo gasto para sinalizar a montagem do túnel entre o CoA do móvel e seu HA, precisa também ser computado o tempo que o próximo datagrama (da conexão ativa) leva para alcançar o móvel, usando agora o seu novo endereço IP (CoA). Esse tempo pode ser generalizado, resultando em

$$T_{OR} = 3(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_2 \quad (3.20)$$

Sendo assim, após feitas essas considerações, foram analisadas as latências do MIP e de suas principais variações, incluindo o SMIP, usando o cenário proposto nesta tese. Os resultados foram comparados entre si e apontaram para a melhor *performance* do SMIP em relação aos demais protocolos analisados, conforme mostrado abaixo:

SMIP

$$L_{SMIP} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.21)$$

Os tempos T_{DM} , T_{CCoA} e T_{RHA} não foram considerados nesta análise, haja visto as considerações feitas acima. Assim, a latência SMIP pode ser computada com a soma de todos os tempos envolvidos com a solicitação de montagem de túnel feita pelo móvel para seu HA ($t_{ma} + t_{ah}$) e com a montagem do túnel entre o HA e o CoA do móvel ($t_1 + t_{bn} + t_{mb}$), todos em dobro, visto a simetria de sinalização prevista pelo protocolo. Além disso, precisa ser computado o tempo gasto pelo próximo datagrama, vindo do CN, para alcançar o móvel, usando o túnel criado ($t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb}$). Desta forma, T_{OR} pode ser computado assim como mostrado na equação 3.22, resultando em uma latência total exposta na equação 3.23, de acordo com a sinalização SMIP,

mostrada na figura 3.7.

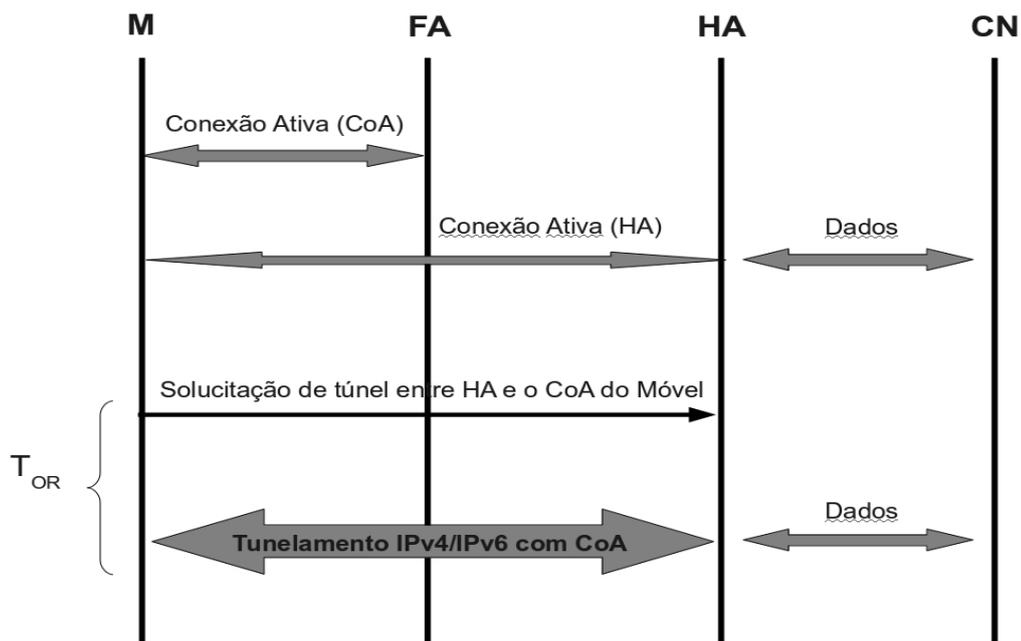


Figura 3.7: Sinalização SMIP

$$T_{OR} = 2(t_{am} + t_{ma}) + 2(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.22)$$

$$L_{SMIP} = 2(t_{am} + t_{ma}) + 3(t_{bn} + t_{mb} + t_1) + t_2 \quad (3.23)$$

MIPv4

$$L_{MIPv4} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.24)$$

Considerando a sinalização MIPv4, resumida na figura 3.8, os tempos T_{DM} e T_{CCoA} também não foram considerados nesta análise, haja visto as premissas expostas para o cenário de integração. Sendo assim, restaram os tempos T_{RHA} e T_{OR} . Levando em consideração a característica reativa do MIPv4, o registro de seu novo CoA é sempre feito usando sua rede atual, portanto, a rede onde o móvel estará após seu deslocamento. Assim, T_{RHA} é computado pela equação 3.25 e T_{OR} , pelas equações 3.26 e 3.27, resultando na latência total expressa pela equação 3.28.

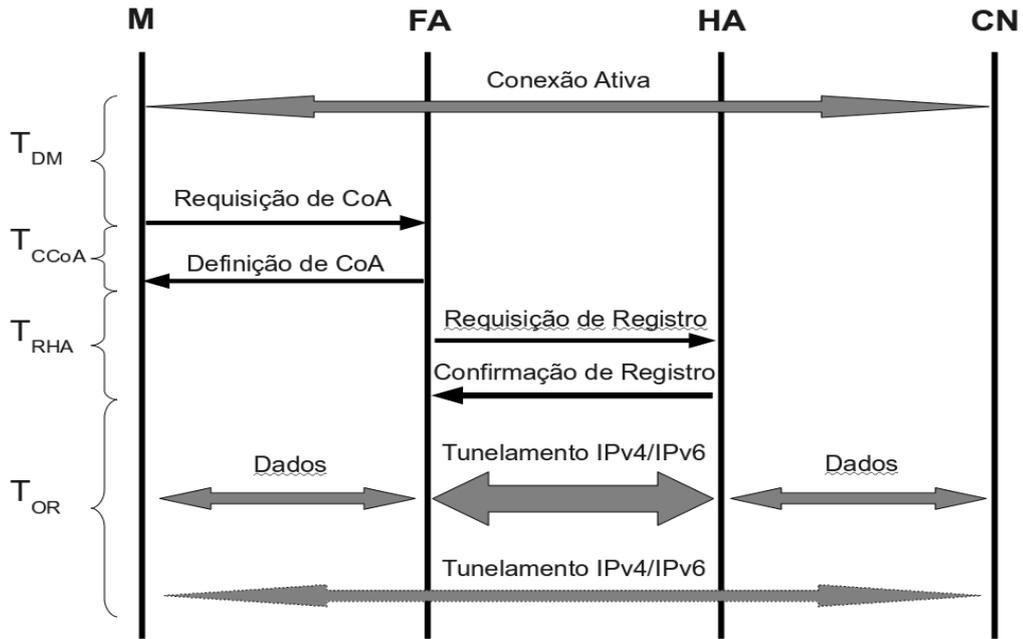


Figura 3.8: Sinalização MIPv4

$$T_{RHA} = 2(t_{mb} + t_{bn} + t_1) \quad (3.25)$$

$$T_{OR} = 2(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.26)$$

$$T_{OR} = 3(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_2 \quad (3.27)$$

$$L_{MIPv4} = 5(t_1 + t_{mb} + t_{bn}) + t_2 \quad (3.28)$$

MIPv6

$$L_{MIPv6} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.29)$$

Considerando a sinalização MIPv6, resumida na figura 3.9 e sem considerar que o CN possua suporte ao protocolo, o que evita a contabilização dos tempos referentes à sinalização entre o móvel e ele, e considerando que o AR está dentro do núcleo da rede visitada, T_{RHA} é dado pela equação 3.30 e T_{OR} , pela equação 3.31, resultando na latência total do protocolo expressa pela equação 3.32.

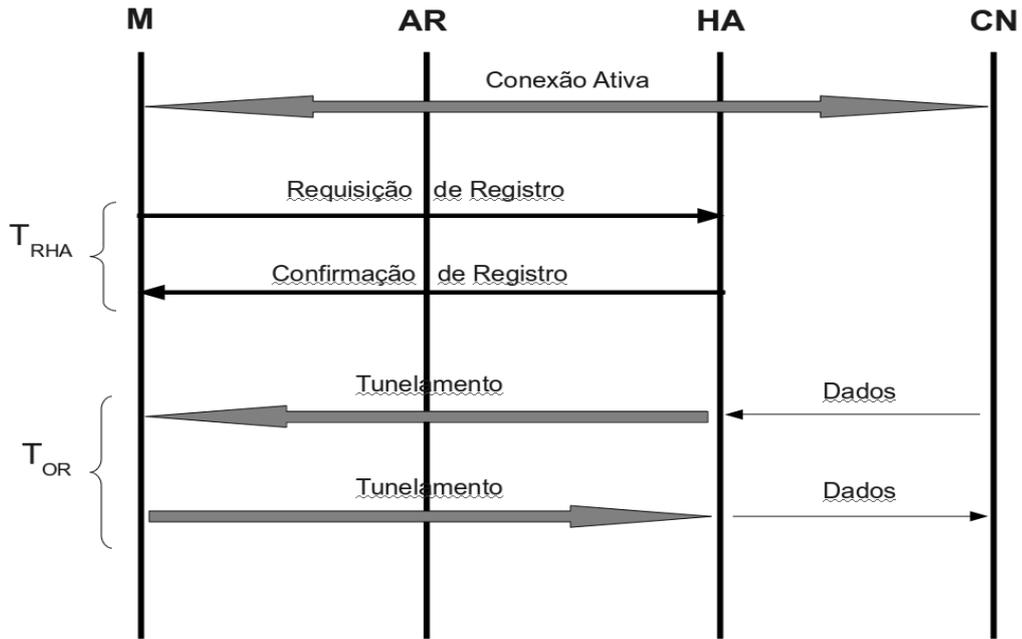


Figura 3.9: Sinalização MIPv6

$$T_{RHA} = 2(t_{mb} + t_{bn}) + 4t_1 \quad (3.30)$$

$$T_{OR} = 2(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.31)$$

$$L_{MIPv6} = 5(t_{mb} + t_{bn}) + 7t_1 + t_2 \quad (3.32)$$

HMIPv6

$$L_{HMIPv6} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.33)$$

Considerando ARs localizados em MAPs diferentes, o HMIP passa a não ser uma boa opção, visto que foi proposto para ambientes onde exista mobilidade frequente entre ARs de um mesmo MAP. A sinalização HMIP está resumida na figura 3.10 e embora o processo de registro de CoA no HA seja considerado como registro no MAP correspondente do móvel e, então, apresenta baixa latência, como mostrado na equação 3.34, o T_{OR} do HMIP é proibitivo no cenário proposto, visto sua necessidade de sinalização frequente entre o móvel e o MAP e entre o MAP e o HA do móvel, conforme pode ser visto nas equações 3.35 e 3.36.

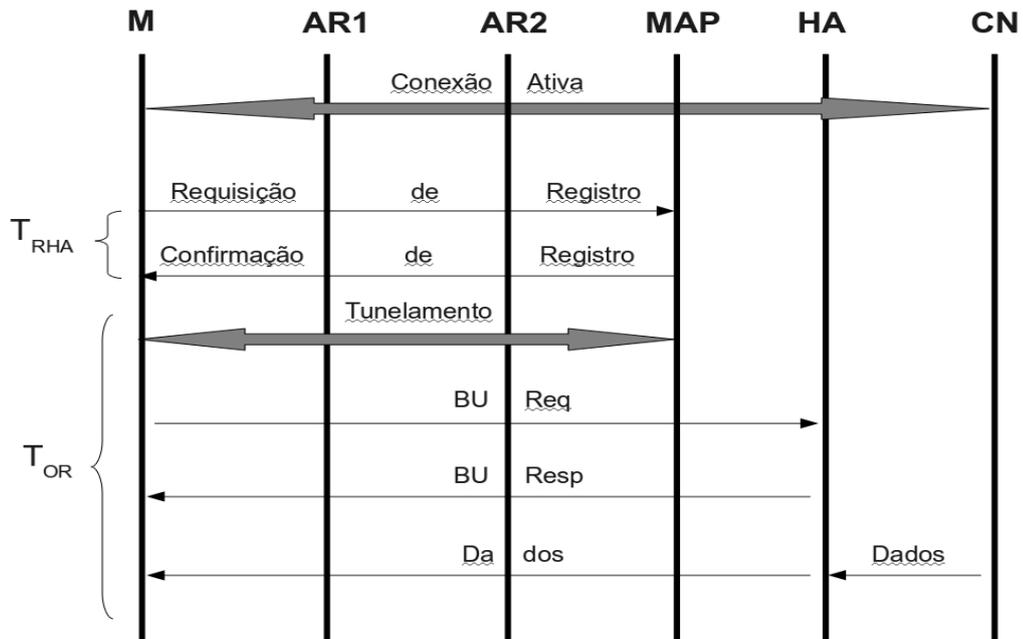


Figura 3.10: Sinalização HMIPv6

$$T_{RHA} = 2(t_{mb} + t_{bn}) \quad (3.34)$$

e

$$T_{OR} = 2(t_{mb} + t_{bn}) + 2(t_{mb} + t_{bn} + t_1) + 2(t_1 + t_{bn} + t_{mb}) + t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.35)$$

$$T_{OR} = 7(t_{mb} + t_{bn}) + 5t_1 + t_2 \quad (3.36)$$

Dessa forma, a latência total do protocolo para o cenário proposto pode ser calculada assim:

$$L_{HMIPv6} = 9(t_{mb} + t_{bn}) + 5t_1 + t_2 \quad (3.37)$$

FMIP-preditivo

O FMIP tenta prever o movimento do móvel (muitas vezes com ajuda de informações da camada de enlace), de maneira a informar a ele qual o próximo AR a ser utilizado (comumente chamado de NAR), e assim identificando o próximo endereço de sub-rede IP a ser usado para compôr o próximo CoA a ser usado pelo móvel. Esta identificação de sub-rede é feita com base na comunicação entre os ARs (atual - PAR e próximo - NAR). Desta forma, o FMIP baseado na

predição de movimento, possui como atraso de *handover*:

$$L_{FMIPv6-pre} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.38)$$

Neste modo de operação, onde a sinalização é resumida na figura 3.11, toda a sinalização FMIP entre PAR e NAR acontece antes da migração física do móvel entre as redes, resultando no T_{RHA} .

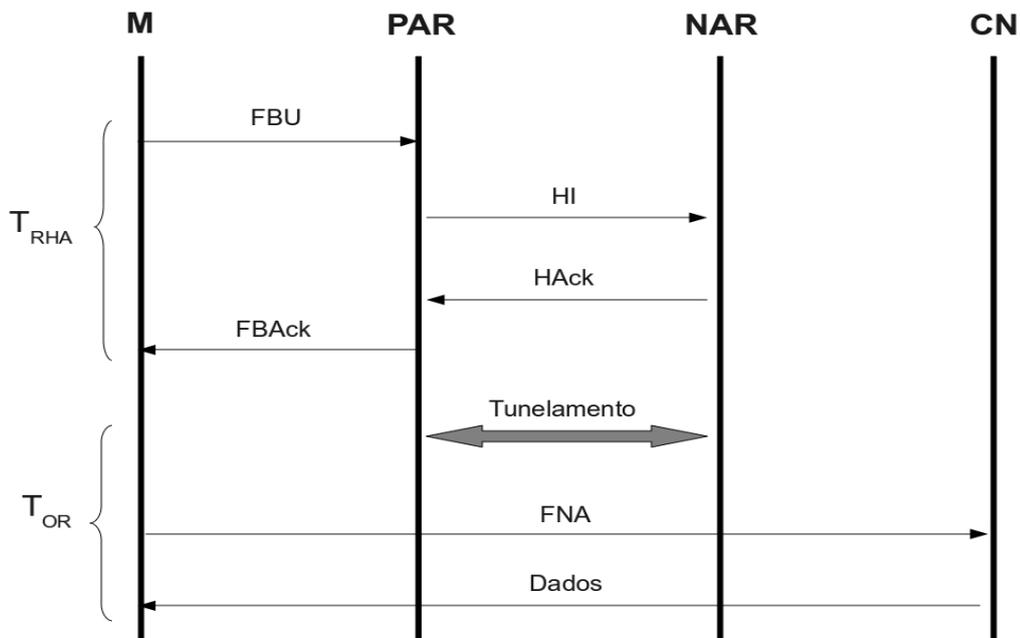


Figura 3.11: Sinalização FMIPv6 Preditivo

$$T_{RHA} = 4(t_{ah} + t_{ma}) + 2t_1 \quad (3.39)$$

O T_{OR} começa a ser computado após a desconexão física do móvel de sua rede atual, incluindo os tempos para montagem do túnel entre o PAR e o NAR e os tempos para a entrega do próximo datagrama do CN ao móvel através de seu NAR. Assim, T_{OR} pode ser expresso por:

$$T_{OR} = 2t_1 + t_{bn} + t_{mb} + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.40)$$

$$T_{OR} = 2(t_1 + t_{mb} + t_{bn}) + t_2 \quad (3.41)$$

Resultando em

$$L_{FMIPv6-pre} = 4(t_{ah} + t_{ma}) + 4t_1 + 2(t_{bn} + t_{mb}) + t_2 \quad (3.42)$$

FMIP-reactivo

No entanto, como a predição de movimento é um processo complexo e pouco preciso, o FMIP prevê também um modo de operação reativo, onde o atraso de *handover* pode ser expresso como:

$$L_{FMIPv6-react} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.43)$$

Pode ser observado na figura 3.12 e considerando que o NAR está no núcleo da rede visitada e a característica reativa do protocolo, que garante a negociação do *handover* do móvel com seu NAR acontece após o deslocamento físico do dispositivo, o T_{RHA} pode ser expresso como

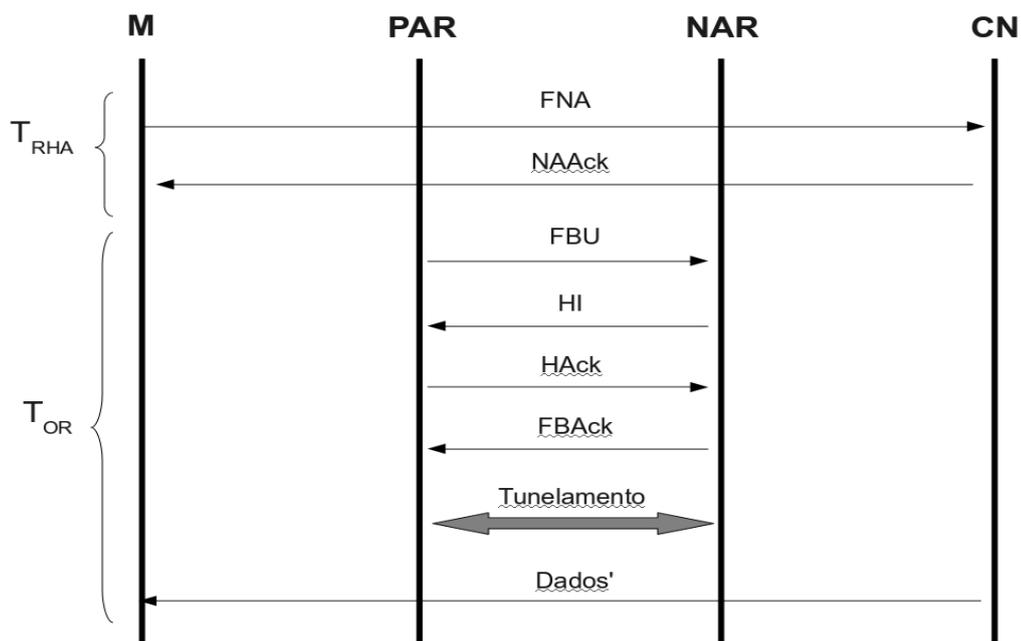


Figura 3.12: Sinalização FMIPv6 Reativo

$$T_{RHA} = 2(t_{mb} + t_{bn}) \quad (3.44)$$

Por outro lado, T_{OR} pode ser computado, de acordo com a sinalização necessária entre PAR e NAR, assim

$$T_{OR} = 2(t_{bn} + t_{mb}) + 5t_1 + t_2 + t_1 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.45)$$

$$T_{OR} = 3(t_{bn} + t_{mb}) + 6t_1 + t_2 \quad (3.46)$$

resultando em

$$L_{FMIPv6-rea} = 5(t_{bn} + t_{mb}) + 6t_1 + t_2 + t_{bn} + t_{mb} \quad (3.47)$$

$$L_{FMIPv6-rea} = 6(t_{mb} + t_{bn} + t_1) + t_2 \quad (3.48)$$

PMIP

$$L_{PMIPv6} = T_{DM} + T_{CCoA} + T_{RHA} + T_{OR} \quad (3.49)$$

Embora proibitivo na arquitetura proposta, o PMIP efetua toda a negociação entre MAGs e ARs, não precisando trocar informações com o móvel para negociar o *handover*. Desta forma, T_{RHA} não é considerado para análise deste protocolo, visto que não há necessidade do móvel transmitir nenhuma sinalização neste processo, conforme resumido na figura 3.13. Assim, a latência do protocolo pode ser por

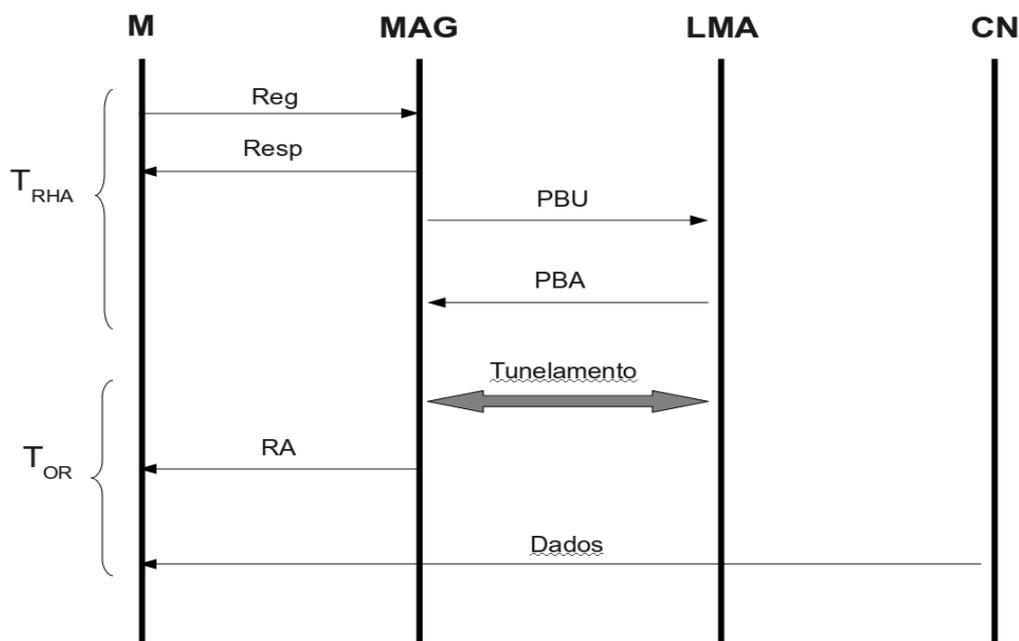


Figura 3.13: Sinalização PMIPv6

$$L_{PMIPv6} = 2(t_{ma} + t_{ah}) + 2t_1 + 2t_1 + 2(t_{ma} + t_{ah}) + t_1 + t_3 \quad (3.50)$$

$$L_{PMIPv6} = 4(t_{ma} + t_{ah}) + 5t_1 + t_3 \quad (3.51)$$

Em resumo, o protocolo MIP e suas variações são bastante eficientes em cenários onde existem redes com alto acoplamento ou com SLAs bem definidos em relação aos aspectos de mobilidade IP. O que está sendo proposto, é um modelo que, embora não pareça academicamente viável, devido não seguir o rigor do funcionamento definido para cada protocolo, se caracteriza como uma solução viável, possível de implementação, devido a sua natureza mais independente de operadoras de telecom. Isto faz com que a maioria dos protocolos de gerência de mobilidade IP não encontrem, neste cenário, o ideal para o seu funcionamento. Visto isso, o SMIP será introduzido como uma opção a mais para viabilizar este cenário de conexão, onde redes estão totalmente desacopladas, permitindo a interação entre elas e viabilizando o mais importante: a continuidade dos serviços oferecidos ao usuário e a sua satisfação.

3.5 Análise da Perda de Pacotes na Sinalização SMIP

O SMIP, por ser uma solução baseada em uma arquitetura cliente-servidor, tem suas funcionalidades baseadas na troca de informações (sinalização) entre o móvel (parte cliente) e o seu HA (parte servidora). Logo, visando verificar a sensibilidade da solução às perdas provocadas pela(s) rede(s) que separam as entidades SMIP, é necessário determinar os impactos da perda de datagramas em sua sinalização.

Os impactos da perda de datagramas, neste trabalho, foram tratados de forma determinística, procurando observar as características da sinalização proposta e o aumento relativo do atraso provocado pelo SMIP, no caso de haver perdas de datagramas que transportem a sinalização necessária para o bom funcionamento do protocolo.

Os momentos críticos que envolvem a operação do SMIP são os instantes:

- Em que o móvel solicita a montagem do túnel entre o CoA e o HA;
- Em que o HA monta esse túnel;
- Durante todo o tempo em que esse túnel é mantido.

Sendo assim, observada a figura 3.6, em que toda a sinalização entre o móvel e seu HA, acontece no âmbito da rede de acesso *home* do dispositivo, portanto a RAN WLAN. Toda a sinalização SMIP é feita usando *sockets* UDP, implementados com confirmação de recebimento. Assim, o efeito provocado pela falha na transmissão da mensagem de montagem de túnel com um CoA, pode gerar a necessidade de retransmissão, impactando diretamente no atraso para o estabelecimento desse túnel e na conseqüente falha na finalização do processo de *handover*. Este tempo é proporcional ao número de tentativas de re-transmissão e pode ser computado por

$$T_{falha} = n(t_{ma} + t_{ah}) \quad (3.52)$$

onde n é o número de tentativas de retransmissão até que a mesma aconteça corretamente. Por outro lado, se a falha acontecer na montagem do túnel entre o HA e o CoA indicado na requisição do móvel, o T_{falha} pode ser computado por:

$$T_{falha} = n[(t_{ma} + t_{ah}) + t_1] \quad (3.53)$$

onde n é o número de tentativas de re-transmissão até que a mesma aconteça corretamente e t_1 é o atraso fim-a-fim computado entre a RAT *home* do dispositivo e o CoA especificado na rede visitada. Note que este tempo, no cenário proposto, é estimado baseado no RTT computado entre o HA e o CoA, visando sempre a aderência a resultados em ambientes reais. Da mesma forma, caso a falha na transmissão aconteça durante a manutenção deste túnel, o T_{falha} é computado por

$$T_{falha} = n[(t_{ma} + t_{ah}) + t_1] + m \quad (3.54)$$

visto que o túnel é mantido através de sinalização *ICMP* e que, uma vez estabelecido, fica ativo desde que um datagrama *ICMP* seja enviado pela origem do túnel e recebido pelo destino do mesmo, durante um período de m segundos. Caso um datagrama *ICMP* não chegue ao seu destino, o túnel é, então, desativado e aguarda o próximo para reativar automaticamente.

3.6 Testes e Resultados com SMIP

Para realizar a validação da solução proposta, foram usadas duas metodologias. A primeira consistiu em uma avaliação baseada em análise determinística do atraso do SMIP e das demais variações do MIP, dentro do cenário considerado. A segunda foi realizada com base em experimentos em bancada de testes, montada em laboratório.

3.6.1 Resultado Numérico

Dessa forma, para a validação do SMIP, usando a primeira metodologia, foram considerados alguns valores para cada um dos tempos envolvidos na computação do atraso SMIP, como fizeram [Kong et al. 2008b] e [Fathi et al. 2009]. Assim, foram considerados:

- $t_{ma} + t_{ah} = 5ms$
- $t_{mb} + t_{bn} = 10ms$
- $t_1 = 100ms$
- $t_2 = 100ms$
- $t_3 = 150ms$

Onde t_1 leva em consideração o *RTT* médio entre dois roteadores interligados pela Internet igual a $5ms$. Portanto, o atraso provocado por trocas de mensagens pela Internet, considerou enlaces com 20 saltos. Os resultados podem ser vistos na figura 3.14.

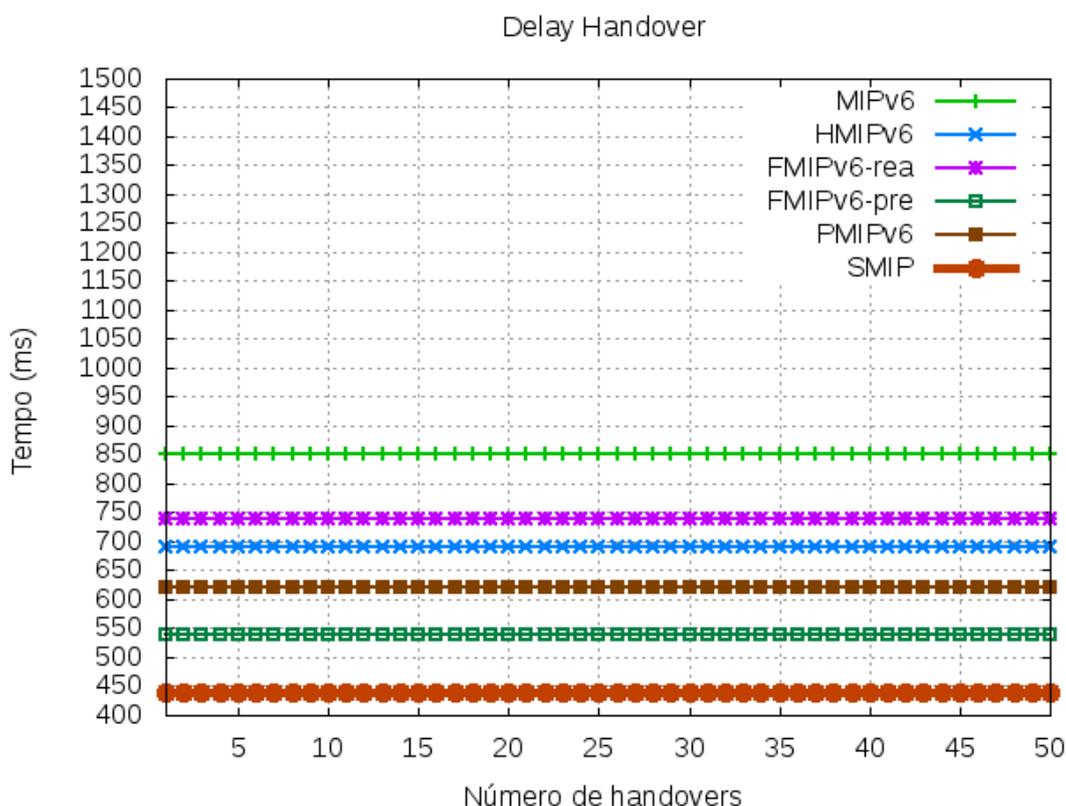


Figura 3.14: atraso das variações MIP e do SMIP

Como pode ser observado, o SMIP obteve, segundo a análise numérica realizada, o atraso de 440ms contra 620ms alcançado pelo PMIP. No entanto, o PMIP possui como premissa para sua utilização, a necessidade das redes participantes ou alvo da movimentação do dispositivo estarem integradas e interoperando, quer seja sob a gerência de uma mesma operadora, quer seja com SLAs bem definidos, o que inviabiliza o uso de tal variação MIP na proposta desta tese.

De todos os atrasos observados, o maior foi o do MIPv6, que ficou em 850ms, inviabilizando o seu uso em ambientes onde a mobilidade é requerida como parâmetro para a qualidade dos serviços oferecidos ao usuário, principalmente em cenários de redes heterogêneas, com necessidade latente de suportar macromobilidade.

As demais variações, embora não tenham apresentado resultados proibitivos para uso, não se aplicam ao cenário modelado nesta tese, visto que possuem características pouco usuais e de difícil dimensionamento em ambientes reais. Por exemplo, o HMIP apresenta características importantes quando adotados cenários de redes acopladas e que interoperem completamente, garantindo a redução da sinalização dentro de contextos onde são consideradas a micro e a macro mobilidades, classificando as redes dentro de uma hierarquia de MAPs.

Por outro lado, o FMIP apresenta boas condições para uso (principalmente em sua forma preditiva), mas depende diretamente de gatilhos confinados às camadas 1 e 2 para apresentar a eficiência necessária, prevendo em sua estrutura de funcionamento, previsões de movimentação não possíveis e nem tão pouco requeridas no cenário proposto. Mesmo assim, o SMIP ainda se mostrou mais eficiente em relação ao atraso gerado por sua sinalização.

3.6.2 Resultado Experimental

Visando então, validar o SMIP usando uma segunda metodologia, foi utilizado um cenário envolvendo duas redes: uma WLAN instalada e em produção no campus de Palmas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) e a rede 3G disponibilizada pela operadora VIVO, na região onde está localizado o referido campus. A escolha do local e cidade se deveu, estritamente, a conveniências de natureza pessoal, por parte do candidato (moradia em Palmas).

Os testes experimentais visaram verificar o tempo decorrido entre o início da desconexão do dispositivo móvel de sua rede *home*, até a reconexão do mesmo, na rede visitada. Para isto, foi utilizado o protocolo ICMP, via aplicação *ping*, para constatar a desconexão e reconexão do móvel nas respectivas redes disponíveis no ambiente, representado pela figura 3.15.

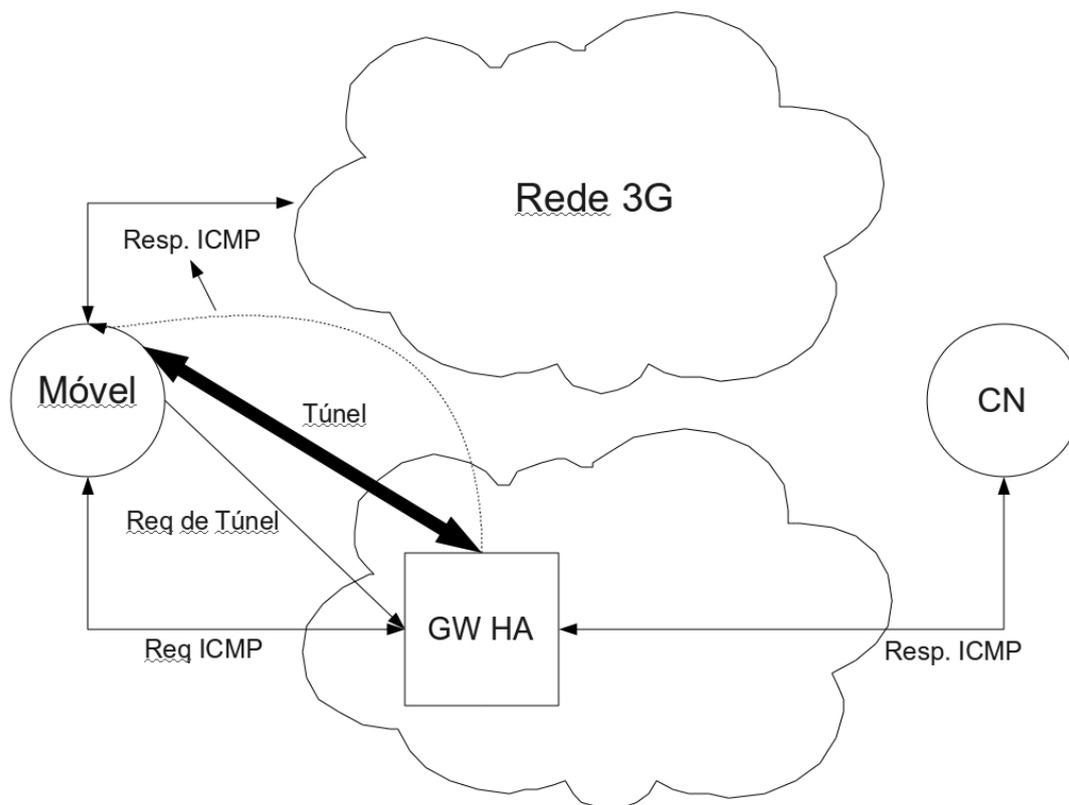


Figura 3.15: Ambiente Experimental SMIP

Nos testes, o móvel foi iniciado e suas *interfaces* WLAN e 3G foram ativadas e conectadas,

recebendo assim, um endereço IP para cada uma delas. Por definição (haja visto os motivos já mencionados), a WLAN foi considerada a rede *home* do usuário, o que levou o móvel a definir sua rota *default* em direção ao *gateway* WLAN. A partir daí, datagramas ICMP foram enviados do móvel para um *host* com endereço IP fixo e fora do domínio das redes envolvidas, visando garantir que estes datagramas estavam alcançando o seu destino, usando a rota *default* definida, ou seja, usando como saída, a *interface* WLAN. Em determinado momento, o móvel troca sua rota *default*, sinalizando ao HA, a necessidade de montagem de um túnel com o seu novo CoA. O HA então, registra este CoA, monta o túnel entre o seu endereço IP e o novo endereço IP do móvel (CoA) e então encaminha a resposta aos datagramas ICMP, transmitidos pelo móvel, usando a WLAN, para o endereço do móvel na rede nova, usando o túnel montado.

Esse procedimento de alteração de rota *default* foi repetido 200 vezes, em intervalos de 5 minutos, enquanto os datagramas ICMP eram transmitidos ao *host* já mencionado. Foram, então, medidos os tempos entre cada desconexão (parada nas respostas ICMP) e reconexão (volta destas respostas), durante os 200 *handovers*, resultando nas informações sobre o atraso provocado pelo SMIP, sintetizadas no gráfico mostrado na figura 3.16.

Considerando a indisponibilidade de redes IPv6 "puras", foram montadas, no citado campus, duas redes IPv6, sendo uma cabeada e outra WLAN. Por simplicidade, foi considerado a rede cabeada como a rede visitada e a WLAN como a rede *home*. O SMIP HA foi instalado no *gateway* da WLAN e o SMIP Cliente, no móvel. Embora os resultados (figura 3.17) pareçam melhores do que os obtidos no ambiente IPv4, ressalta-se que, nessas redes IPv6, não havia tráfego agregado nenhum.

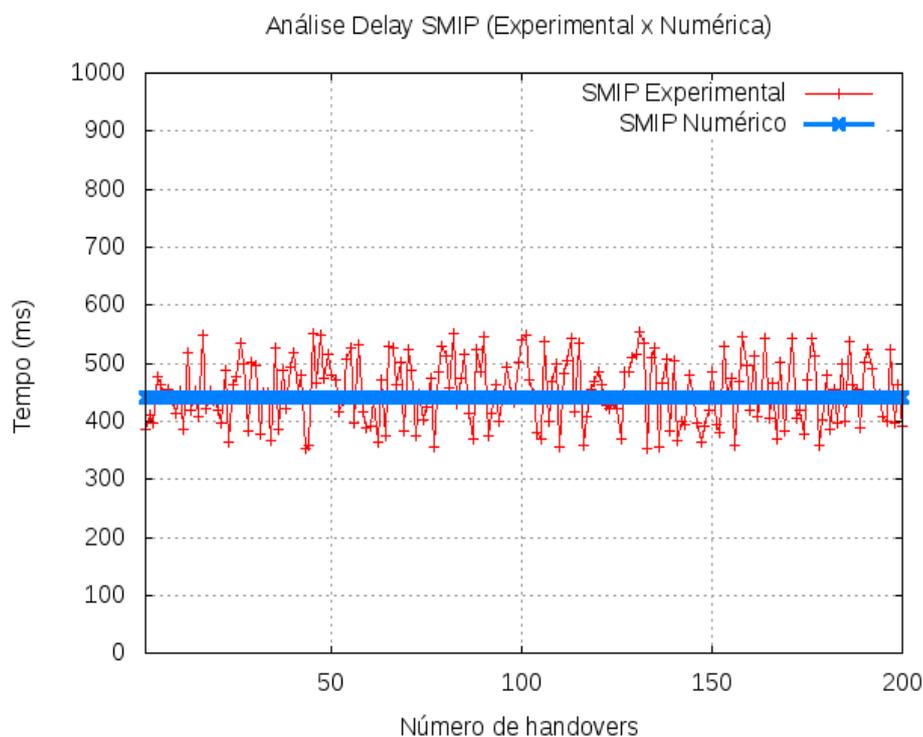


Figura 3.16: Análise do atraso SMIP (Experimental x Numérico)

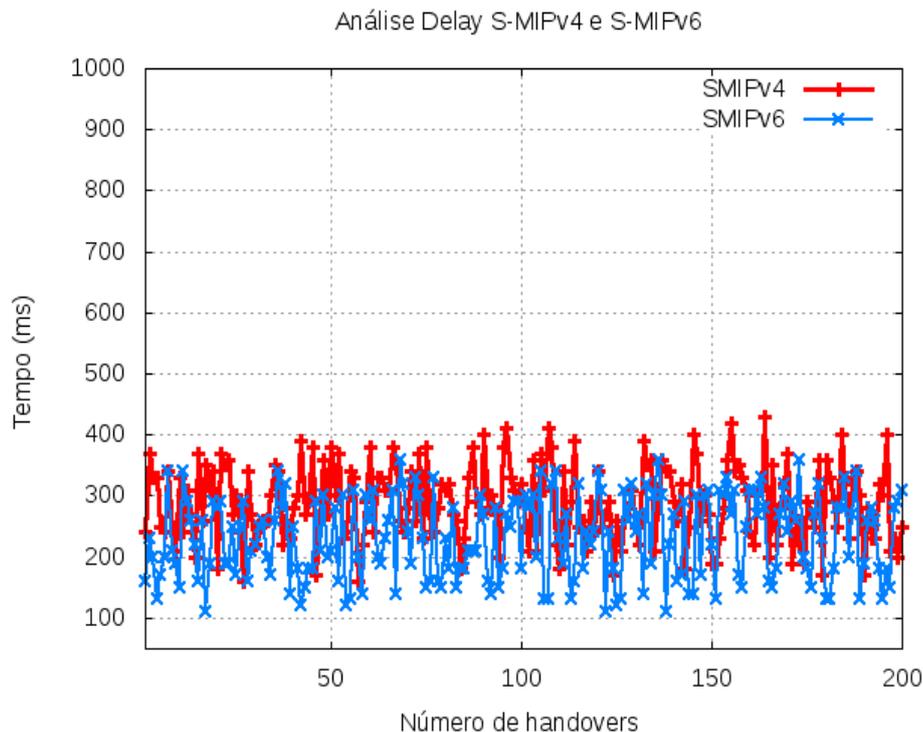


Figura 3.17: atrasos das variações MIP e do SMIP no Ambiente IPv6

3.7 Conclusão do Capítulo

O SMIP é apresentado como uma solução para gerenciar a mobilidade na camada 3 em ambientes onde estejam disponíveis redes heterogêneas ou não, baseadas no protocolo IP. Algumas características especializam o SMIP para o cenário definido nesta tese. Algumas destas características são:

- O SMIP precisa que o usuário móvel inicie sua requisição de serviço, estando em sua rede *home*. No caso deste trabalho, a rede *home* foi considerada como sendo uma WLAN, visto a facilidade de inserir no núcleo dessa rede, a parte servidora da arquitetura SMIP, constituída pelo HA. Isso implicou que, durante todos os testes realizados, as requisições de serviço tinham sempre que ser iniciadas a partir de uma WLAN *home*, para então o usuário poder se movimentar. Essa é uma restrição do ambiente e não da solução, visto que, se for possível a instalação do SMIP HA no núcleo de qualquer uma das redes disponíveis ao móvel, o usuário experimentará a possibilidade de iniciar um serviço a qualquer momento e a partir de qualquer rede;
- O SMIP prevê seu funcionamento em ambientes de redes sobrepostas. No entanto, em deslocamentos longos (considerados aqui como espaços percorridos por usuários onde não exista cobertura de sua WLAN *home*), realizados entre o campus Palmas do IFTO e a sede da Reitoria do mesmo instituto, o móvel iniciou as requisições ICMP usando a WLAN do campus,

para depois ser deslocado de carro até a reitoria. Antes que o sinal WLAN deixasse de existir, a rota *default* do móvel foi trocada para a *interface* 3G e as repostas às requisições ICMP continuaram a chegar pelo túnel montado entre o HA e o CoA 3G do móvel. Ao chegar na sede da reitoria, novamente as duas redes (WLAN e 3G) passaram a coexistir, momento em que a rota *default* do móvel foi novamente trocada para utilizar a *interface* WLAN. Esse teste foi feito nos dois sentidos, ou seja, iniciando as requisições ICMP a partir da WLAN do campus para, depois iniciar o deslocamento à reitoria e iniciando as requisições ICMP a partir da WLAN da reitoria, para depois iniciar o deslocamento ao campus. Em ambos os casos, os resultados foram iguais aos alcançados pelos testes feitos dentro do campus;

- O SMIP funciona tanto em redes baseadas em IPv4 quanto em IPv6. Para isso, duas implementações foram realizadas, considerando que as APIs de *sockets* para IPv4 e IPv6 são diferentes. Embora os testes em ambientes em produção tenham sido feitos considerando redes IPv4, visto a indisponibilidade de **backbones** IPv6 "puros", testes realizados em ambiente controlado, mostraram que os resultados são bastante semelhantes aos apresentados em redes IPv4.

Sendo assim, o SMIP se mostrou eficiente para o cenário proposto e aderente para aplicação em ambientes reais e em produção, não exigindo o acoplamento de redes, possibilitando dessa forma, o uso da solução de forma independente de operadoras de redes, levando a mesma à eficiência em ambientes onde co-existam várias redes sem fio com tecnologias diferentes.

Capítulo 4

Solução para Seleção de Redes

4.1 Introdução

A seleção de redes tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores e grupos, que vem propondo o uso de técnicas computacionais para automatizar, com o maior nível de precisão possível, o processo de escolha de uma rede por parte de um dispositivo móvel. O que tem sido apresentado na literatura é o emprego de técnicas sofisticadas para tentar combinar os diversos critérios a serem considerados no processo de seleção de redes, visando habilitar o móvel a tomar a melhor decisão.

Contudo, devido a complexidade desse processo e do número de variáveis e contextos a considerar, tais técnicas não se tornaram, ainda, um padrão adotado pela indústria, que continua inserindo, em seus dispositivos móveis, algoritmos para selecionar redes, baseados em métodos/critérios pouco eficientes. Por exemplo, uma boa parte dos smartphones disponíveis hoje, usam apenas a intensidade de sinal medida em suas *interfaces* de comunicação, para selecionar a rede de saída padrão do móvel. Em smartphones mais recentes, com sistemas operacionais mais novos, como o Android, a seleção é feita considerando o custo de acesso de cada rede. Por exemplo, um smartphone Android, caso conectado a duas redes, onde uma delas é WLAN e outra 3G, sempre faz a opção pela WLAN, mesmo que o sinal da 3G esteja melhor.

Fica claro que algoritmos de seleção de redes que considerem apenas esses critérios, podem gerar problemas de acesso ao dispositivo móvel, visto que esses parâmetros nem sempre refletem as condições da rede para atender as requisições do usuário. Esse problema vem se agravando nos últimos anos, quando as redes celulares passaram também a convergir sua camada 3 para IP, contribuindo para o surgimento das redes chamadas All-IP. Com essas redes, os dispositivos móveis, ora confinados nas redes comutadas por circuitos, ora nas redes comutadas por pacotes, passam então a estar sempre conectados a redes IP, portanto, comutadas por pacotes, disponibilizando toda a funcionalidade desse tipo de rede ao usuário, incluindo aí o acesso à Internet. Assim, considerar apenas as condições das redes de acesso (RATs) durante o processo de seleção, pode não ser suficiente, principalmente se os parâmetros considerados são apenas o nível do sinal ou o custo de acesso das redes disponíveis, podendo levar o usuário a experimentar um nível de qualidade de

experiência (QoE) não satisfatório durante os seus acessos.

Sendo assim, algoritmos para selecionar a melhor rede, dentro de um universo de redes disponíveis, têm sido propostos com base em diversos critérios que vão, desde o nível de sinal até características do serviço acessado pelo usuário. Em outras palavras, as soluções para seleção de redes têm sido propostas considerando as variáveis que definem a qualidade de serviço (QoS) das redes e as variáveis que definem a qualidade de experiência (QoE) do usuário com aquele determinado acesso.

Nesse contexto, este trabalho propõe um mecanismo de seleção de redes, baseado em uma métrica que mapeia a possível qualidade do serviço recebido (ou a receber), em critérios de QoS (atraso, jitter e perda de pacotes), tornando possível e viável a utilização de algoritmos para a seleção de redes que possam considerar as redes, baseados nas possíveis condições que as mesmas oferecem para cada tipo de tráfego. Para efeito de testes, foi considerado o tráfego de vídeo e, como consequência, usado o mapeamento da possibilidade de qualidade de um vídeo recebido, em critérios de QoS.

Esta parte do trabalho foi desenvolvida em quatro etapas. Na primeira etapa foram analisados alguns dos trabalhos que apresentam soluções para a seleção de redes, classificando-os em relação às técnicas utilizadas, quantidade de parâmetros considerados, localização da solução e tipo de resultado apresentado. O resultado dessa etapa está descrito na seção 2.

A segunda etapa consistiu da investigação dos limites das métricas de QoS e seus impactos na qualidade do vídeo recebido. Para isso, foram realizados experimentos em ambiente controlado, onde foi observado, repetidamente, o comportamento da qualidade do vídeo recebido, medida usando as métricas PSNR, o que serviu de base para a proposta da métrica apresentada neste trabalho. A descrição desse ambiente experimental, a metodologia usada, os resultados encontrados e a descrição da métrica proposta são apresentados na seção 3.

A terceira etapa foi dedicada à concepção da arquitetura da solução para a seleção de redes, chamada de QoV-NS. Nessa etapa, foram desenvolvidos e descritos os módulos da arquitetura e o fluxo de informações entre eles, assim como o fluxo de funcionamento geral da arquitetura. O resultado dessa etapa está descrito na seção 4.

Na quarta etapa, a validação da métrica e da arquitetura do QoV-NS foi proposta, usando um ambiente real, com foco em duas redes (WLAN e 3G). A descrição do ambiente, a metodologia usada, os resultados encontrados e a comparação com os apresentados com o uso dos algoritmos de seleção de rede padrão existentes nos smartphones atuais, são detalhadamente descritos na seção 5.

O restante deste capítulo está na seção 6, onde são apresentadas as conclusões e as possibilidades de continuação desta pesquisa e na seção de referências bibliográficas, onde as bases para a composição do mesmo foram apresentadas em [Monteiro and Gondim 2009], [Monteiro and Gondim 2010b], [de Castro Monteiro and de Lira Gondim], [Monteiro et al. 2010].

4.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentadas algumas considerações sobre o gerenciamento de mobilidade, focando os conceitos relevantes sobre o processo de *handover*, com o intuito de possibilitar ao leitor o entendimento sobre o contexto onde a proposta apresentada nesse artigo está inserida.

Alguns dos problemas enfrentados, quando se trata de gerenciamento de mobilidade, são: passar do ponto de acesso atual para outro, no momento apropriado; permanecer com a transmissão de dados ativa, enquanto se movimenta; e alocar recursos para um novo dispositivo móvel, mantendo a qualidade de serviço dos demais. Sendo assim, tecnologias e técnicas foram criadas, no intuito de sanar tais problemas, como protocolos de mobilidade (MIP/SIP), técnicas de QoS (controle de admissão de chamada, alocação de recursos, etc.), entre outros, visando a total mobilidade do usuário, em qualquer lugar, a qualquer hora.

A integração entre as soluções apresentadas para os problemas de seleção de redes, controle de admissão e gerência de mobilidade IP é essencial para o sucesso da arquitetura de integração entre redes sem fio, visto que, juntas, tentam atender aos requisitos de um *handover* eficiente.

Desta forma, a seleção de rede é uma fase importante no processo de *handover*, cujo objetivo é selecionar para o usuário móvel, mediante critérios, regras e políticas previamente estabelecidas, a melhor rede de acesso disponível dentre as redes de tecnologia de acesso heterogêneas ou homogêneas, no ambiente em que se encontra. Isto é realizado com o uso de técnicas que possam classificar as redes de forma concisa e rápida. Algumas dessas técnicas usam métodos MADM (Multiple Attribute Decision Making) [Stevens-Navarro and Wong 2007], combinados com tecnologias como lógica fuzzy, algoritmos genéticos e redes neurais.

O emprego dessas técnicas, muitas vezes, resulta em soluções com alta complexidade e custo computacional, dificultando a realização das mesmas de forma experimental, o que as inviabiliza do ponto de vista de realização.

Assim, a proposta apresentada nesta tese, considera um cenário onde os dispositivos móveis possuam várias *interfaces* de comunicação sem fio, todas com compatibilidade operacional com o protocolo IP; que todas as *interfaces* estejam disponíveis e conectadas nas suas respectivas redes de acesso (ou seja, foi considerado que os procedimentos de camada 1 e 2 já tenham sido realizados), caracterizando que sempre ocorrerá o *soft handover*, podendo o móvel executar esse processo, tanto de forma horizontal, quanto vertical.

Então, para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma análise detalhada de dois trabalhos que propõem soluções para seleção de redes em ambientes heterogêneos, visando a subsidiar a solução apresentada aqui, comparando-a com as outras duas.

Alguns trabalhos, como visto no capítulo 2 desta tese, propõem arquiteturas pouco acopladas de integração entre redes sem fio heterogêneas, com o intuito de melhorar o desempenho das fases inerentes ao processo de *handover*, incluindo a seleção de redes. Na prática, esses trabalhos utilizam os conceitos de alguma das funções do MIH (MIES - Media Independent Event Service, MIIS - Media Independent Information Service e MICS - Media Independent Command Service),

visando melhorar as ações de seus **frameworks** que propõem garantir aos usuários, o *handover* transparente e sem descontinuidades em seus serviços. Em todos esses trabalhos, mesmo que indiretamente, os autores consideram o MIH como opção de referência para realizar a fase de seleção de rede do *handover*, visto que os serviços MIIS e MIES foram concebidos pelo padrão 802.21 para coletar e fornecer informações sobre as redes disponíveis às camadas superiores de uma conexão.

Por isso, foram escolhidas as propostas apresentadas em:

- [Li et al. 2007] onde são classificados regimes de múltiplas *interfaces* para *handover* heterogêneo em redes sem fio. É proposto um sistema de múltiplas *interfaces* para IEEE 802.21 MIH. O esquema é proposto para ser capaz de trabalhar com o padrão TCP e agentes roteadores com Mobile IPv4 sem configuração particular. Com base neste esquema, foi implementado um modelo que considera um móvel com duas *interfaces* em uma simulação com ns2, para avaliar o desempenho e comparar com o modelo que considera o terminal móvel com apenas uma *interface*.
- [Deif et al.], que apresenta um algoritmo para seleção de rede baseado no bem conhecido WLAN-First.

Nos trabalhos considerados para avaliação da solução proposta e nos demais apresentados no capítulo 2, foi identificado o uso de mais de uma variável analisada para a seleção das redes (multi-atributo), mostrando que os algoritmos atuais, usados nos dispositivos existentes, não atende às necessidades de ubiquidade dos usuários. No entanto, as soluções apresentadas para o problema, devem ser encaradas de duas formas: a) soluções ótimas e inviáveis; b) soluções boas e viáveis. Em outras palavras, a escolha de uma solução deve considerar “o que é viável fazer” com uma “precisão possível”. Essa questão motivou esta pesquisa, conduzindo o trabalho realizado, no sentido de criar uma solução o mais precisa possível, com um custo computacional baixo, de fácil implementação e implantação viável, realizando a menor modificação possível na infra-estrutura das redes, centralizando toda a atividade de identificação, avaliação e escolha no móvel e usando critérios comumente medidos em redes de computadores para aferir sua qualidade, mapeando esses em métricas que visam prever a possível qualidade de um serviço disponível naquela rede.

4.3 Métrica Proposta

Medir a qualidade de serviço em uma rede de computadores é uma tarefa fácil, bem descrita e de razoável aplicação, visto que as métricas consideradas para esse fim são bem conhecidas, tendo seus limites já bem determinados. No entanto, quando o foco é medir a qualidade de um vídeo transmitido através de uma rede de computadores, essa facilidade dá lugar a imprecisões, visto que muitos outros parâmetros e fatores precisam ser considerados, além dos já bem conhecidos parâmetros de rede.

Embora existam muitas métricas usadas para aferir a qualidade de vídeo (QoV) [Eden 2007], [Wu et al. 2007], [Winkler 2007], [Goel and Okumoto 2009], [Suresh et al. 2008], [Suresh et al. 2009], [Suresh et al. 2008], [Suresh et al. 2007], elas, em geral, podem ser classificadas como subjetivas e objetivas. As métricas subjetivas, embora mais eficientes, dependem da avaliação do usuário e, portanto, possuem uma dificuldade natural de automatização. Por outro lado, as métricas objetivas tendem a ser de mais fácil automatização, porém de baixa eficiência. Muitas delas têm tentado, usando apenas artefatos de vídeo, alcançar maior eficiência objetiva em suas avaliações, cada uma dentro de suas características em relação ao nível de exigência de uso da referência original do vídeo em seu funcionamento.

As métricas objetivas, então podem exigir o vídeo original completo para que possa ser comparado com o recebido após a transmissão, sendo, nesse caso chamadas de métricas de referência completa (Full Reference – FR), enquanto que as que necessitam de apenas algumas informações sobre o vídeo original são chamadas de métricas de referência reduzida (Reduced Reference – RR), sendo as últimas delas, aquelas que não exigem nenhuma referência do vídeo original para realizar seu trabalho, sendo rotuladas de métricas sem referência (No Reference – NR).

Neste trabalho, é proposta uma métrica NR para prever a qualidade de um vídeo sendo (ou a ser) transmitido por uma rede, baseado em um mapeamento dos artefatos de rede (atraso, jitter e perda de pacotes), numa tentativa de avaliar, baseada nas condições da rede, qual a possível qualidade do vídeo recebido ou a receber. Essa proposta tenta tornar possível essa avaliação, sem considerar toda a complexidade de uma métrica de QoV-NR, que precisa analisar diversos artefatos de vídeo, com a finalidade de funcionar como a visão humana, fato que ainda não é totalmente possível.

Portanto, essas métricas apresentam uma relação custo-eficiência ainda alta, fazendo com que ainda não tenham se tornado um padrão para aplicações que precisam tomar decisões instantâneas baseadas em seus resultados. Algumas dessas métricas e suas correlações são apresentadas na próxima seção.

Embora a proposta de métrica desenvolvida neste trabalho tenha considerado a qualidade de vídeos recebidos ou a receber em uma rede de computadores, ela pode ser utilizada para qualquer outro tipo de aplicação, desde que estabelecidos os limites para o mapeamento das variáveis de rede na qualidade do serviço acessado.

4.3.1 Composição da Métrica

A métrica proposta foi composta por uma equação que usa as variáveis atraso, jitter e perda de pacotes em uma rede de computadores, cada uma ponderada de acordo com seu impacto na transmissão de um vídeo, com o intuito de gerar um valor aderente aos valores descritos para a métrica MOS (0 a 5). A intenção foi verificar qual o impacto na qualidade do vídeo, gerado por cada uma das métricas, na tentativa de se obter uma métrica objetiva, sem referência e de relação custo/eficiência satisfatória para sua implementação e implantação em dispositivos móveis

reais. Para isso, uma série de experimentos foram feitos em uma bancada de testes, montada especificamente para essa finalidade. Essa bancada e a metodologia usada nos ensaios são descritas na seção 4.3.1.1.

Como a premissa de que não se pode ter o controle total sobre a infra-estrutura de uma rede heterogênea como a Internet, para cada variável de rede analisada nos experimentos aqui apresentados, foram consideradas as características fim-a-fim, devido a intenção de obter resultados que possam estar aderentes à realidade, no que diz respeito à aplicação prática dos mesmos.

Dessa forma, o atraso, o jitter e a perda de pacotes foram todas abordadas sob essa visão. Portanto, ao considerar o atraso fim-a-fim, foi proposto

$$A_{FF} = N(A_T + A_P + A_F + A_{Pr}), \quad (4.1)$$

onde:

- N =Número de roteadores entre a origem e o destino;
- A_T =Atraso de Transmissão;
- A_P =Atraso de Propagação;
- A_F =Atraso de Fila;
- A_{Pr} =Atraso de Processamento.

Os Atrasos de Transmissão, Propagação e Fila podem ser encontrados da seguinte forma

$$A_T = \frac{L}{R}, \quad (4.2)$$

$$A_P = \frac{d}{s}, \quad (4.3)$$

$$A_F = (n - 1) \cdot \frac{L}{R}, \quad (4.4)$$

onde:

- L =tamanho do datagrama;
- R =velocidade da *interface*/enlace;
- d =distância entre roteadores;
- s =velocidade do meio;

- n =número de datagramas.

O Atraso de processamento pode ser encontrado em função dos demais atrasos e do atraso geral fim-a-fim, substituindo 4.2, 4.3 e 4.4 em 4.1, resultando em 4.5.

$$A_{Pr} = \frac{A_{FF}}{N} - \frac{L}{R}n - \frac{d}{s} \quad (4.5)$$

```

File Edit View Terminal Help
ccm@mobile:~$ ping -c 10 187.4.65.139
PING 187.4.65.139 (187.4.65.139) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=1 ttl=57 time=46.3 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=2 ttl=57 time=46.1 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=3 ttl=57 time=59.0 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=4 ttl=57 time=49.0 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=5 ttl=57 time=102 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=6 ttl=57 time=45.8 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=7 ttl=57 time=49.0 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=8 ttl=57 time=50.1 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=9 ttl=57 time=46.4 ms
64 bytes from 187.4.65.139: icmp_seq=10 ttl=57 time=54.5 ms

--- 187.4.65.139 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9012ms
rtt min/avg/max/mdev = 45.888/54.944/102.730/16.427 ms
ccm@mobile:~$

```

Figura 4.1: Saída do comando "ping-c 10" no sistema operacional GNU Linux

Para estimar o atraso médio de processamento em cada um dos nós envolvidos na conexão, os valores observados nas saídas dos comandos `ping -c 10` e `traceroute`, usando o sistema operacional GNU Linux (mostrados na figura 4.1 e 4.2), podem ser substituídos em 4.5, considerando:

- que os atrasos sejam simétricos (o mesmo tempo que o datagrama leva pra chegar ao destino, ele leva pra voltar);
- $N = 8$ =número de saltos mostrados pela saída do comando `traceroute`;
- $L = 56\text{bytes} = 448\text{bits}$;
- $n = 10$ =número de datagramas transmitidos;
- $R = 100\text{Mbits/s} = 100.000.000\text{bits/s}$ =velocidade de cada *interface* envolvida na conexão;
- $d = 1$ =distância entre cada roteador da conexão (metros);
- $s = 1\text{Mbits/s} = 1.000.000\text{bits/s}$ =velocidade dos enlaces entre cada roteador da conexão;

```

File Edit View Terminal Help
ccm@mobile:~$ traceroute 187.4.65.139
traceroute to 187.4.65.139 (187.4.65.139), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 (192.168.1.1)  1.717 ms  1.672 ms  3.132 ms
 2 10.10.30.1 (10.10.30.1)  6.806 ms  7.278 ms  7.684 ms
 3 200.163.67.129 (200.163.67.129)  8.465 ms  9.611 ms  9.724 ms
 4 200-199-228-29.gnace300.ipd.brasiltelecom.net.br (200.199.228.29)  55.401
ms  56.009 ms  56.640 ms
 5 BrT-P09-1-gnace304.brasiltelecom.net.br (201.10.249.221)  73.724 ms  74.2
38 ms  74.807 ms
 6 201.10.206.218 (201.10.206.218)  76.413 ms  191.737 ms  193.098 ms
 7 187.4.79.42 (187.4.79.42)  514.085 ms  514.676 ms  515.506 ms
 8 187.4.65.139 (187.4.65.139)  518.362 ms  518.951 ms  519.709 ms
ccm@mobile:~$

```

Figura 4.2: Saída do comando "traceroute" no sistema operacional GNU Linux

- que as filas de cada roteador usam a disciplina de fila FIFO e possuem intensidade de tráfego menor que 1.

Temos:

$$A_{Pr} = \frac{27,472}{8} - \frac{448}{10^8} \cdot 10 - \frac{1}{10^6}$$

$$A_{Pr} = \frac{27,472}{8} - 0,3664$$

$$A_{Pr} = 3,0676ms$$

4.3.1.1 Ambiente de Testes e Metodologia

Para avaliar os impactos das variáveis de QoS de rede atraso, jitter e perda de pacotes na qualidade de recepção de vídeos em uma rede de computadores, foi montada uma bancada de testes com 5 computadores, todos netbooks, visando facilitar a montagem/desmontagem da bancada. Esses computadores foram dispostos como mostrado na figura 4.3 e divididos, de acordo com sua função:

- Netbook 1: Servidor de Vídeo;
- Netbook 2: Roteador 1;
- Netbook 3: Roteador 2;

- Netbook 4: Cliente;
- Netbook 5: Gerador de Tráfego.

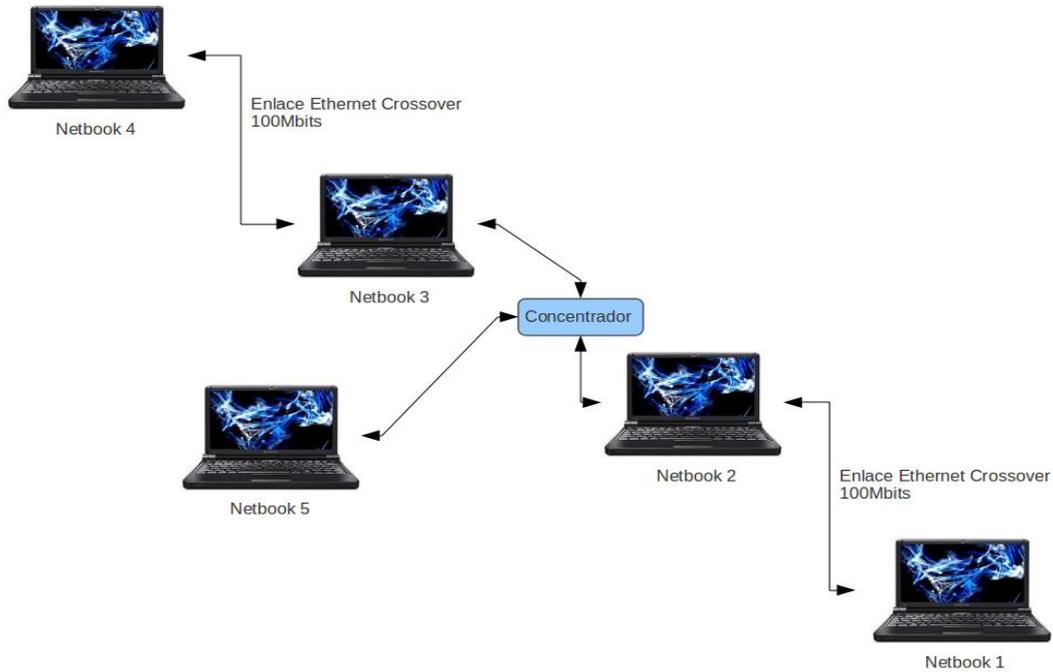


Figura 4.3: Estrutura da Bancada de Testes

Todos os computadores usados na montagem dessa bancada de testes possuem a mesma configuração básica: processador Atom 1.6, 2GB de RAM, HD de 320MB e duas *interfaces* ethernet 802.3. A tabela 4.1 mostra a lista completa de *softwares* instalados e utilizados em cada um dos computadores.

Tabela 4.1: Lista of *softwares* usados nos testes

Computador	Lista de Software
Netbook 01	Linux 2.6.32, ffmpeg, vlc
Netbook 02	Linux 2.6.32, cbq, htb
Netbook 03	Linux 2.6.32, cbq, htb
Netbook 04	Linux 2.6.32, ffmpeg, vlc, wireshark, tcpdump, gnuplot
Netbook 05	Linux 2.6.32, iptraf

Assim, os experimentos consistiram de 14 grupos de ensaios, cada um contendo 100 transmissões da sequência de vídeo *Highway*, codificada em mpeg4, no formato CIF, com taxa de 300Kbps e GOP de tamanho 12. Cada ensaio foi categorizado pela quantidade de tráfego concorrente injetado na rede, conforme tabela 4.2.

Tabela 4.2: Resumo dos Grupos de Teste

Grupo de teste	Tráfego de fundo considerado
1	990 Kbps
2	980 Kbps
3	970 Kbps
4	960 Kbps
5	950 Kbps
6	900 Kbps
7	800 Kbps
8	700 Kbps
9	600 Kbps
10	500 Kbps
11	400 Kbps
12	300 Kbps
13	200 Kbps
14	100 Kbps

Para cada um dos grupos de ensaios, foram observados os valores das variáveis atraso, jitter e perda de pacotes durante a transmissão do vídeo, visando identificar valores limites para cada parâmetro, quando analisada a qualidade do vídeo recebido, usando a métrica PSNR. Para medir essas variáveis, os seguintes procedimentos foram seguidos:

1. Ativação do VLC, com sua função de servidor de **stream** de vídeo sob demanda, no *netbook* 1;
2. Ativação do IPTraf no *netbook* 5 para gerar o tráfego agregado referente àquele grupo de ensaio;
3. Ativação, no *netbook* 4, do programa de transmissão de datagramas ICMP para o *netbook* 1, visando capturar o tempo que cada datagrama leva para ir e voltar, frente às condições da rede. Esse programa, com base nesses dados, computa o atraso e a perda de pacotes e calcula o *jitter*.

Com base nestes procedimentos, foram verificados os impactos na qualidade do vídeo recebido, frente ao comportamento dos parâmetros de rede, tendo sido possível encontrar valores limites para cada um dos parâmetros analisados, para que um vídeo possa ser entregue com qualidade ao usuário. Após analisar os dados de cada grupo de ensaio, foram calculados a média e o desvio padrão, encontrando assim, o coeficiente de variação de cada uma das variáveis medidas, relacionando-os com a qualidade visual dos vídeos recebidos e comparando essa relação com os valores da métrica PSNR encontrados para cada grupo de ensaio. No entanto, o uso do coeficiente

de variação não se mostrou apropriado, visto que, em alguns casos, não representa um valor que corresponda à realidade observada. Sendo assim, foram utilizados os valores máximo, mínimo e médio para compôr a análise de cada variável de rede, resultando na métrica proposta.

4.3.1.2 Análise das Métricas de QoS e do PSNR

Com a hipótese de que a métrica PSNR possui sensibilidade às variáveis de rede (atraso, jitter e perda), foram identificados, para cada grupo de ensaio, os limiares de cada métrica, em relação à qualidade do vídeo recebido, medido pela PSNR. Para determinar o tamanho da amostra populacional necessária para que os resultados apresentassem 95% de confiança, o ensaio 01 foi definido como o pior cenário, onde o tráfego de fundo consumia quase toda a banda disponível no ambiente utilizado. Desta forma, o ensaio foi realizado 100 vezes e encontrada a média e o desvio padrão médio de cada parâmetro populacional utilizado. Assim, foi escolhido o parâmetro populacional atraso como base para estimar o tamanho da amostra ideal, visto que o mesmo apresentou valores de desvio-padrão médio mais elevados, no ensaio considerado como o pior caso. Isso possibilitou a predição do tamanho ideal da amostra populacional, conforme dados abaixo:

- $\chi = 4550,51\text{ms}$;
- $\sigma = 4339,92\text{ms}$;
- $\rho = 95\%$;
- $\theta = 900\text{ms}$.

onde:

- χ = média;
- σ = desvio padrão médio;
- ρ = nível de confiança;
- θ = erro máximo permitido.

Assim, foi encontrado o seguinte valor para o tamanho das amostras (ω):

$$\theta = \frac{\sigma * 1,96}{\sqrt{\omega}} \quad (4.6)$$

$$900 = \frac{4339,92 * 1,96}{\sqrt{\omega}} \quad (4.7)$$

$$\omega = 89,328609102 \quad (4.8)$$

Desta forma, as amostras utilizadas em cada ensaio foi de 100 repetições, correspondendo a 100 transmissões da sequência de vídeo no ambiente montado. Para cada grupo de ensaio, os valores médios de atraso, jitter, perda de pacotes e PSNR foram computados por transmissão. Após as 100 transmissões, os valores médios para as variáveis analisadas foram calculados, estabelecendo um intervalo de confiança para esses valores, com um nível de significância de 95%, calculando uma margem de erro em função do desvio-padrão médio de cada variável analisada e do tamanho da amostra populacional considerada, conforme equação abaixo:

$$\theta = \frac{\sigma * 1.96}{\sqrt{\omega}} \quad (4.9)$$

onde,

- σ = Desvio padrão médio da amostra;
- ω = Tamanho da amostra populacional.

Os resultados estão apresentados e comentados abaixo, nas figuras de 4.4 to 4.17.

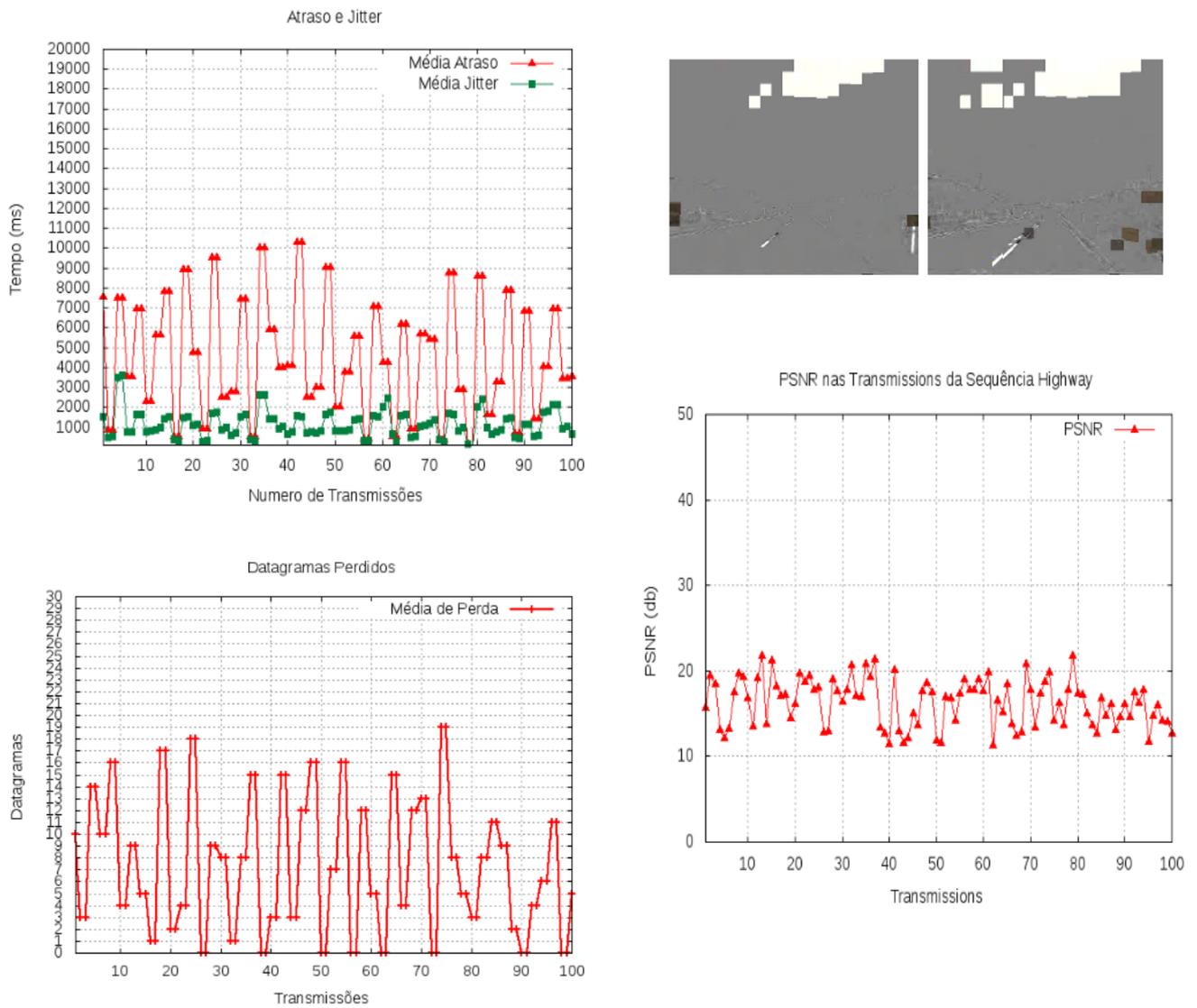


Figura 4.4: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 1

Tabela 4.3: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 01

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	4550,51	10286.9	71.87	4339.92	850.62	3699.89 a 5401.14
Jitter(ms)	1142,76	3592.43	12.55	2036.01	399.06	743.7 a 1541.81
Perda(%)	7.44	19	0	5.74	1.12	6.31 a 8.56
PSNR(db)	16.25	21.75	11.24	2.78	0.55	15.71 a 16.8

Na figura 4.4, pode ser visto o resultado das 100 transmissões da sequência **highway**, do grupo de ensaios 1, onde a quantidade de tráfego de fundo injetado no enlace de 1Mbits/s foi de 990Kbits/s. Dessa forma, o experimento ultrapassou o limite do **link** estabelecido, tendo a transmissão do vídeo competido com o tráfego de fundo, causando atrasos referentes ao enfileiramento nos roteadores do ambiente e, muitas vezes, a perda de datagramas, causado pelo descarte dos mesmos, considerando o limite físico das filas e a operação “**best effort**” do algoritmo FIFO.

Pode ser observado que a média do atraso medido durante essas transmissões ultrapassou 10000ms, enquanto que a média do jitter chegou perto dos 3500ms, caracterizando que a rede estava, nesse cenário, completamente inapta para a transmissão de sequências de vídeo, como pode comprovar um exemplo de uma sequência de dois frames extraída do vídeo recebido.

Embora as variáveis referentes à qualidade de rede mostrem a completa falta de disponibilidade da rede para a transmissão de vídeos, a métrica PSNR, usada para verificar a qualidade com a qual o vídeo foi recebido, mostra variação entre 12 e 22. Isso reflete a ineficiência dessa métrica para esse tipo de aferição de vídeo, considerando, principalmente, sua característica atemporal.

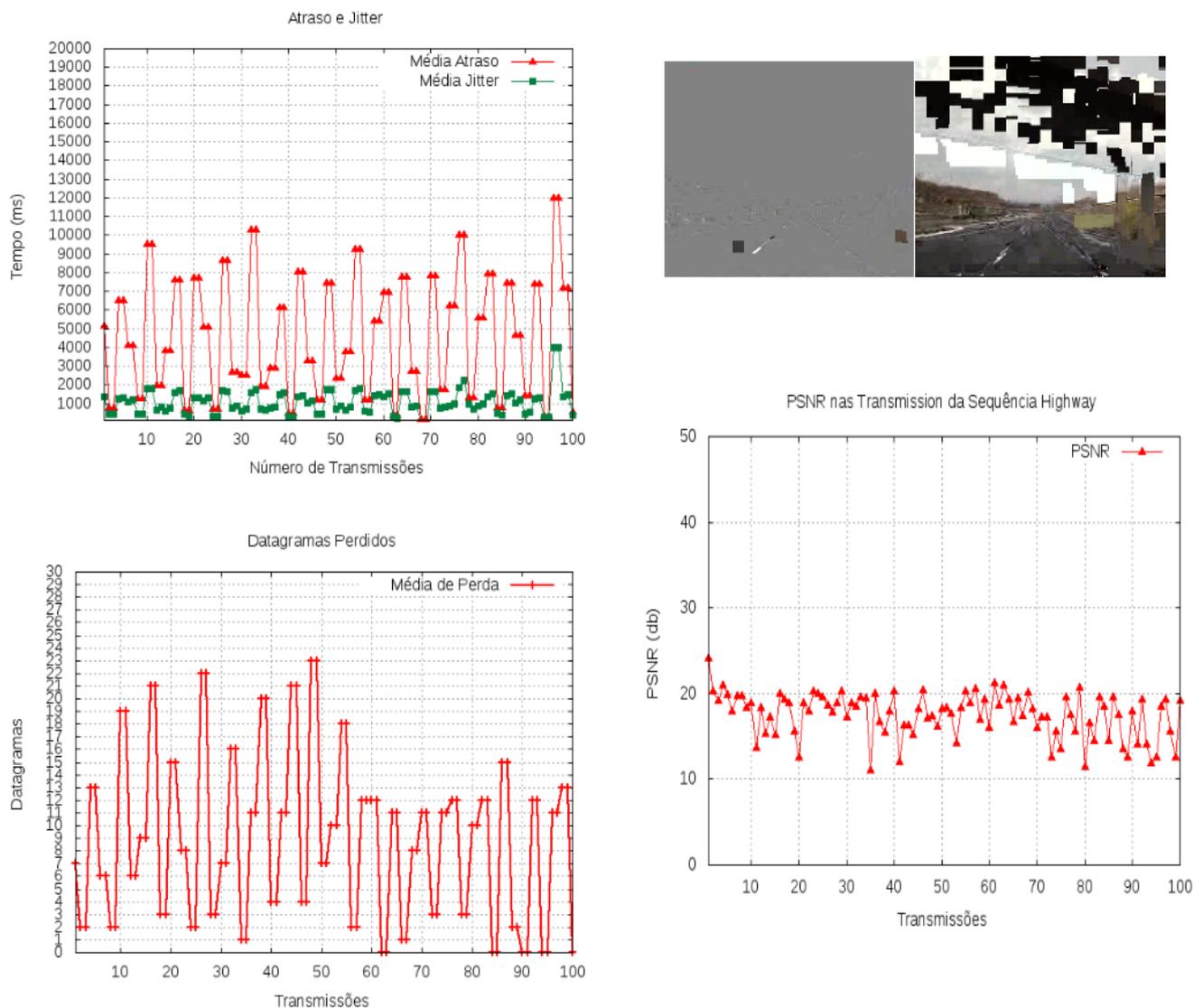


Figura 4.5: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 2

Tabela 4.4: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 02

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	4602.95	12022.84	155.68	4082.58	800.19	3802.76 a 5403.13
Jitter(ms)	1072.27	4009.71	13.14	1717.73	336.67	735.6 a 1408.94
Perda(%)	8.95	23	0	6.55	1.28	7.67 a 10.23
PSNR(db)	17.48	24.09	11.05	2.6	0.51	16.97 a 17.99

Para o grupo 02 (figura 4.5), pode ser observado que a situação persiste. Muitas perdas de datagramas, atrasos acima de 12000 e jitter acima de 4000. A percepção visual do vídeo recebido é muito ruim, devido a esses valores elevados das variáveis de rede. No entanto, o PSNR continua informando um valor acima de 10, que é ruim, mas não reflete a situação real da qualidade do vídeo recebido.

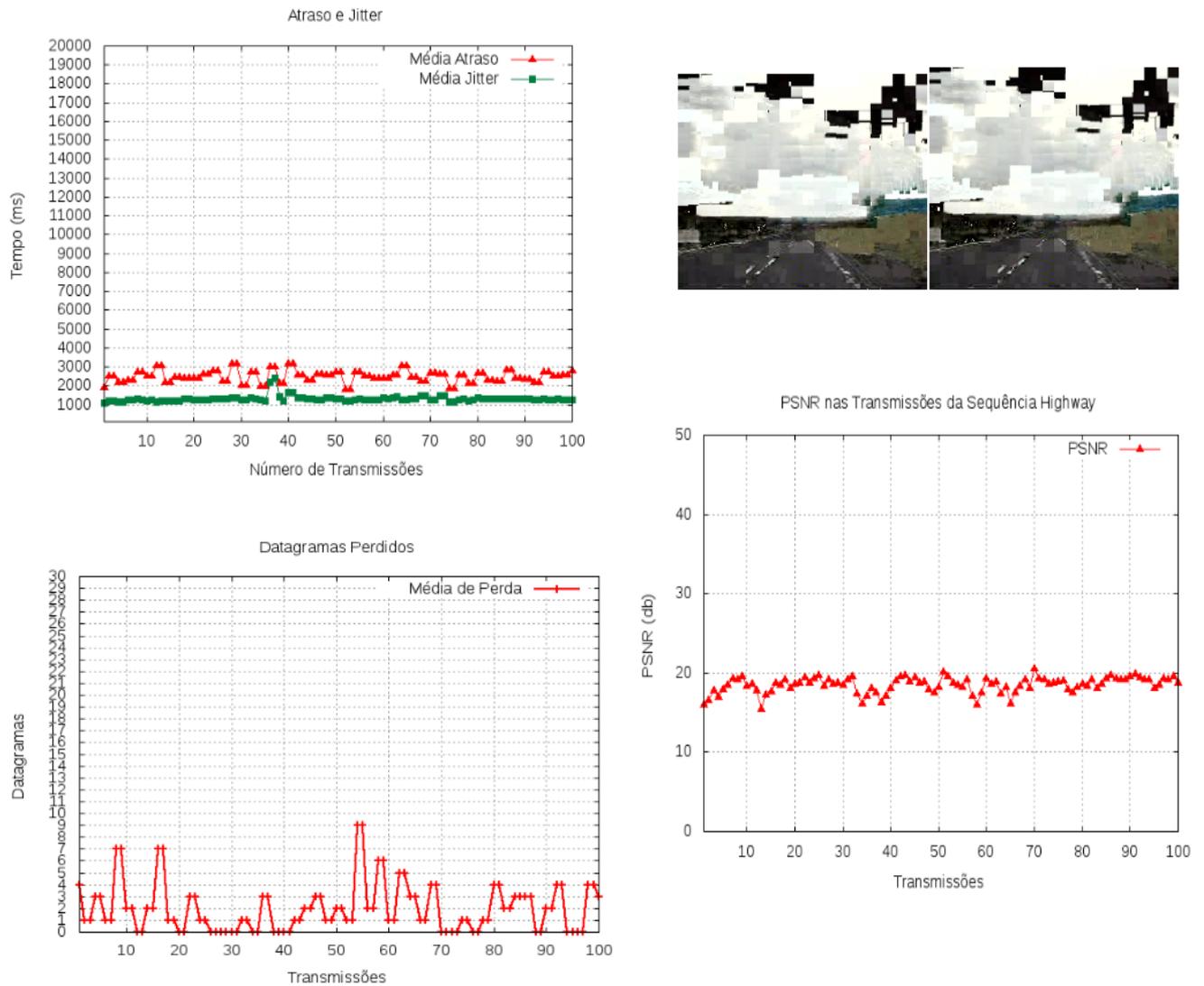


Figura 4.6: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 3

Tabela 4.5: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 03

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	2486.26	3182.19	1802.66	1862.36	365.02	2121.24 a 2851.28
Jitter(ms)	1301.86	2414.22	1106.12	1147.98	225	1076.85 a 1526.86
Perda(%)	2.03	9	0	2.1	0.41	1.62 a 2.44
PSNR(db)	18.97	23.06	13.46	1.6	0.31	18.66 a 19.28

Na figura 4.6, que representa o resumo do grupo 03, a quantidade de tráfego agregado diminui para 960Kbits, o que reduz a quantidade de erros, mas não a constância deles. O atraso e o jitter também reduzem, não ultrapassando 4000ms e 2500ms, respectivamente, refletindo em uma sensível melhora do nível do PSNR. No entanto, o vídeo recebido, no que diz respeito a sua percepção visual, continua em nível abaixo do mínimo possível para um observador normal assistir.

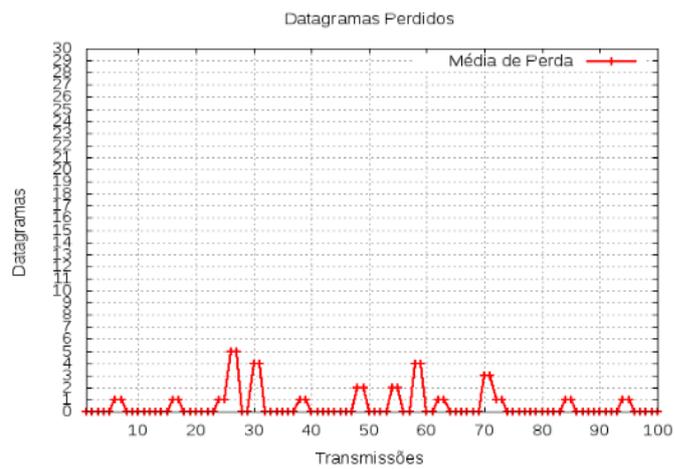
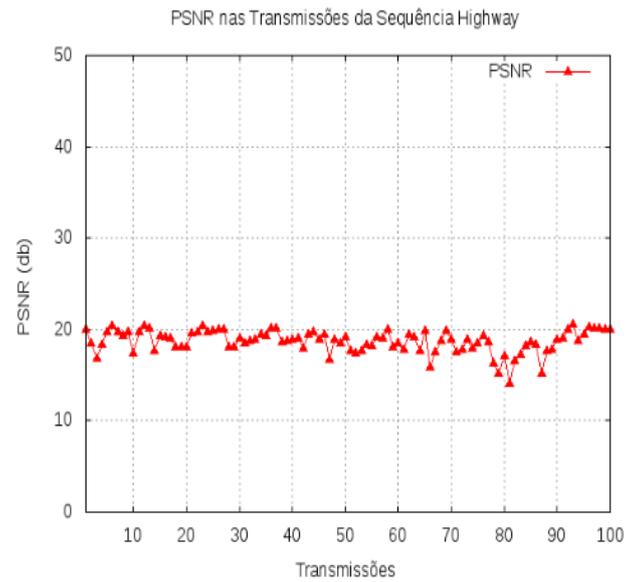
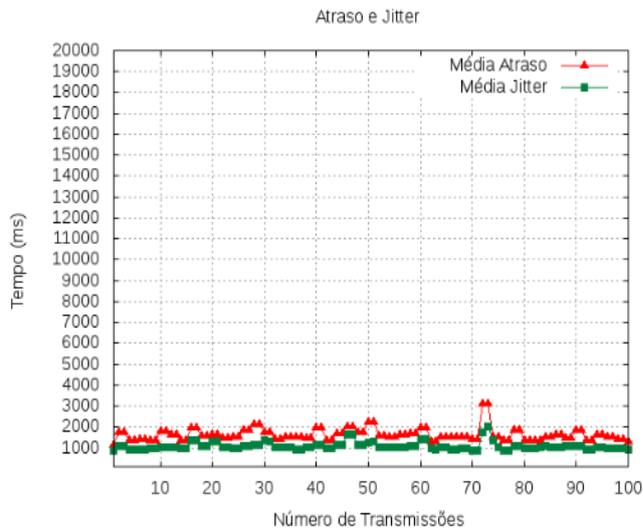


Figura 4.7: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 4

Tabela 4.6: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 04

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	1623.16	3116.46	1161.37	1485.09	291.08	1332.08 a 1914.24
Jitter(ms)	1079.95	2038.73	870.85	1022.55	200.42	879.53 a 1280.37
Perda(%)	0.55	5	0	1.15	0.23	0.33 a 0.78
PSNR(db)	19.17	22.66	11.02	2.22	0.43	18.73 a 19.6

No grupo 04, o tráfego agregado à rede é de 950Kbits, restando ao vídeo apenas 50Kbits para sua transmissão. Isso continua gerando perdas, atrasos e jitter, que não permitem uma boa experiência com a recepção do vídeo, conforme mostra a sequência de frames da figura 4.7, contradizendo o PSNR medido. Para ilustrar, o atraso e o jitter médios nesse ensaio não passaram de 3200ms e 2050ms respectivamente.

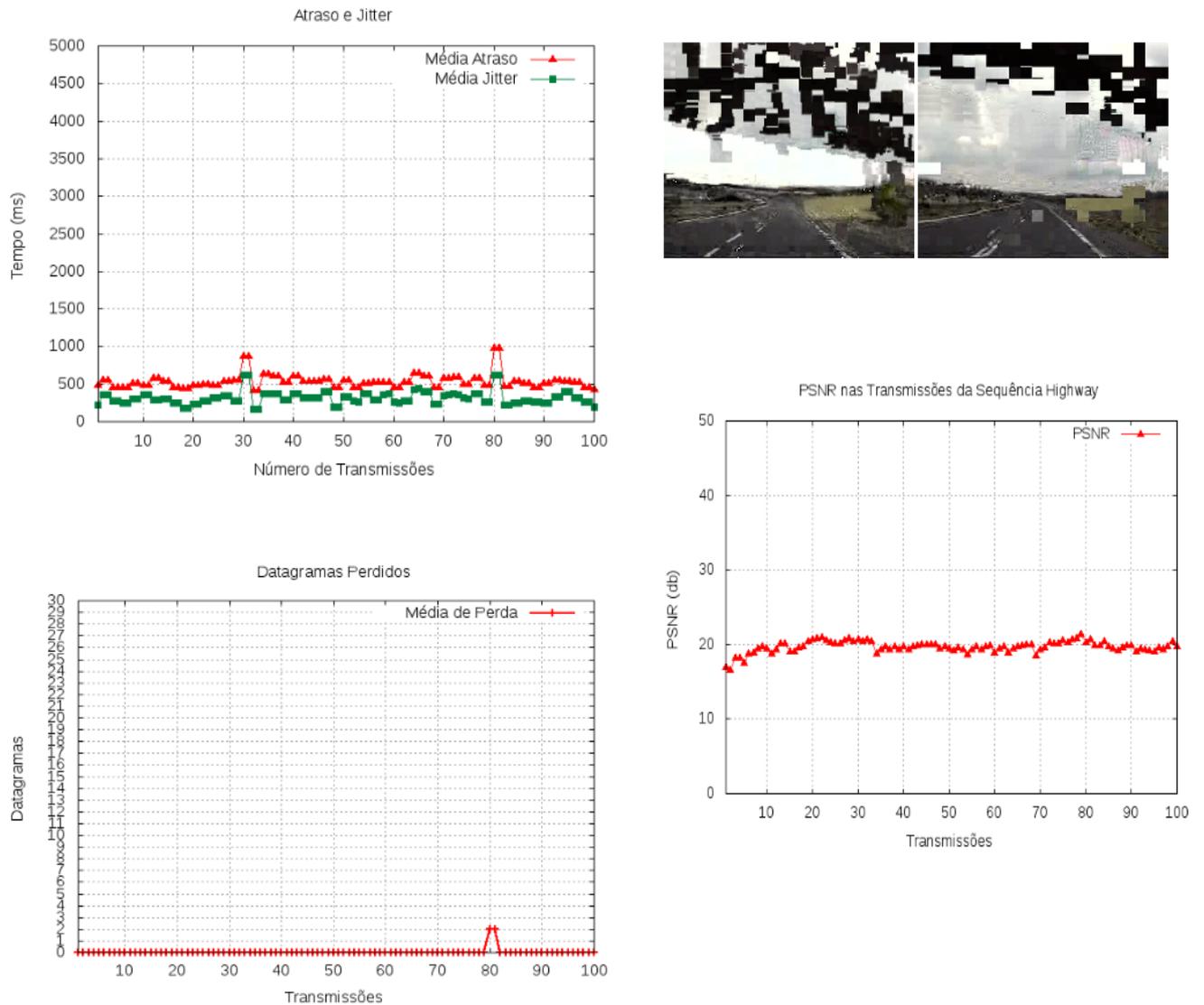


Figura 4.8: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 5

Tabela 4.7: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 05

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	532.82	975.47	408.6	512.09	100.37	432.45 a 633.19
Jitter(ms)	312.52	623.7	165.27	449.8	88.16	224.36 a 400.68
Perda(%)	0.04	2	0	0.28	0.05	0 a 0.09
PSNR(db)	20.16	22.53	16.92	0.99	0.19	19.96 a 20.35

No grupo 05, mostrado na figura 4.8, o tráfego agregado é reduzido para 900kbps, sobrando, portanto, 100kbps para que o vídeo, codificado a 300kbps possa ser transmitido. Isso, embora tenha reduzido os valores médios de atraso para menos que 1000ms e do jitter para menos de 700ms, as perdas continuaram a ocorrer, configurando um cenário onde as perdas de datagramas e os atrasos, prejudicam a recepção e a consequente reprodução da sequência de vídeo em questão.

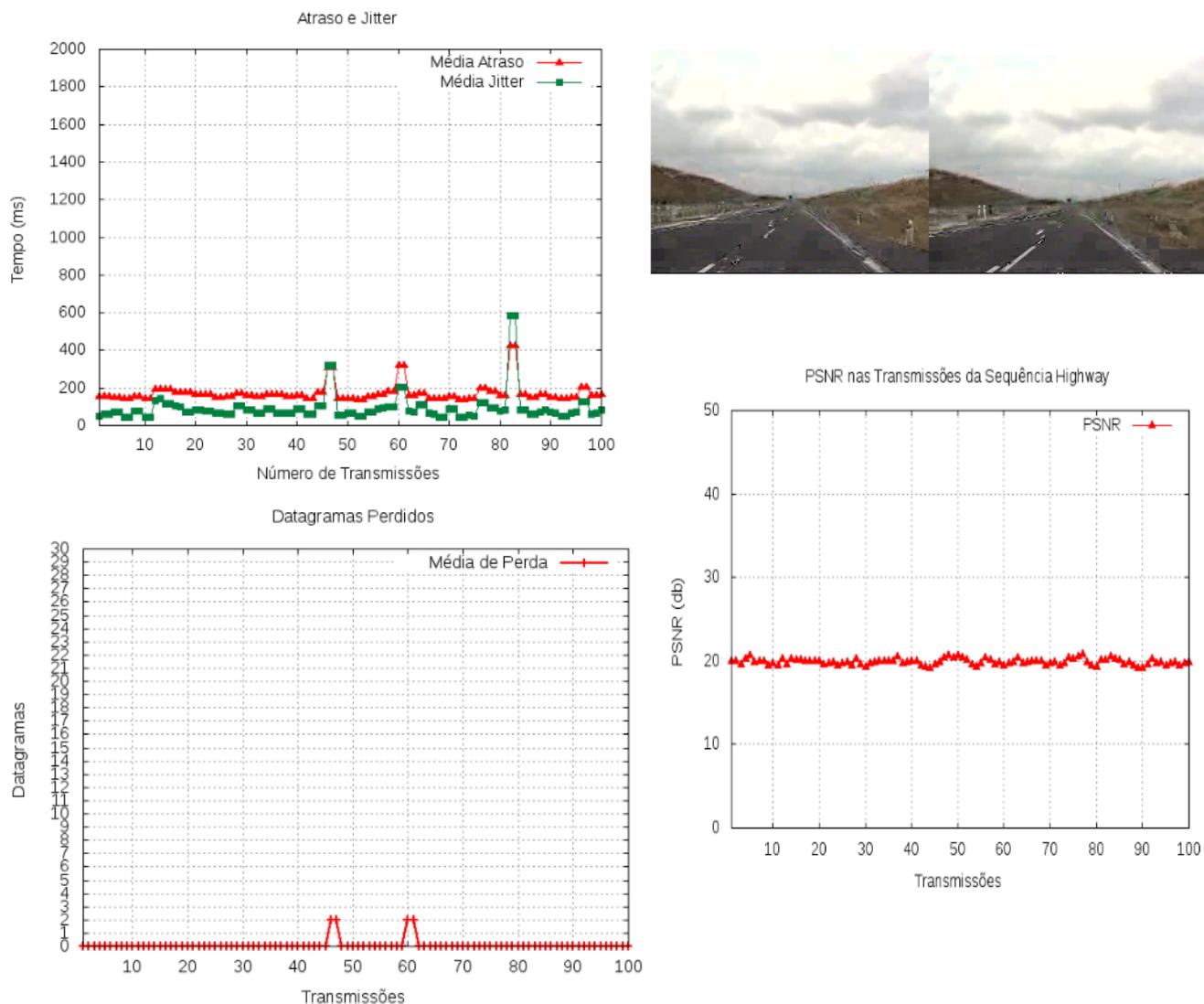


Figura 4.9: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 6

Tabela 4.8: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 06

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	171.21	422.93	136.21	178.89	35.06	136.15 a 206.28
Jitter(ms)	93.78	584.53	41.97	188.42	36.93	56.85 a 130.71
Perda(%)	0.08	2	0	0.39	0.08	0 a 0.16
PSNR(db)	20.36	21.47	19.45	0.54	0.11	20.25 a 20.46

O grupo 06, ilustrado na figura 4.9, se aproxima da situação ideal para a transmissão de uma sequência de vídeo codificada a 300Kbps, visto que o tráfego de fundo foi fixado em 800kbps, reservando portanto 200kbps para a transmissão do vídeo. Nesse caso, os valores médios de atraso e jitter não ultrapassaram os 600ms, e a perda permaneceu, grande parte das vezes, em zero,

mostrando a eficiência das políticas de gerenciamento de filas existentes nos roteadores.

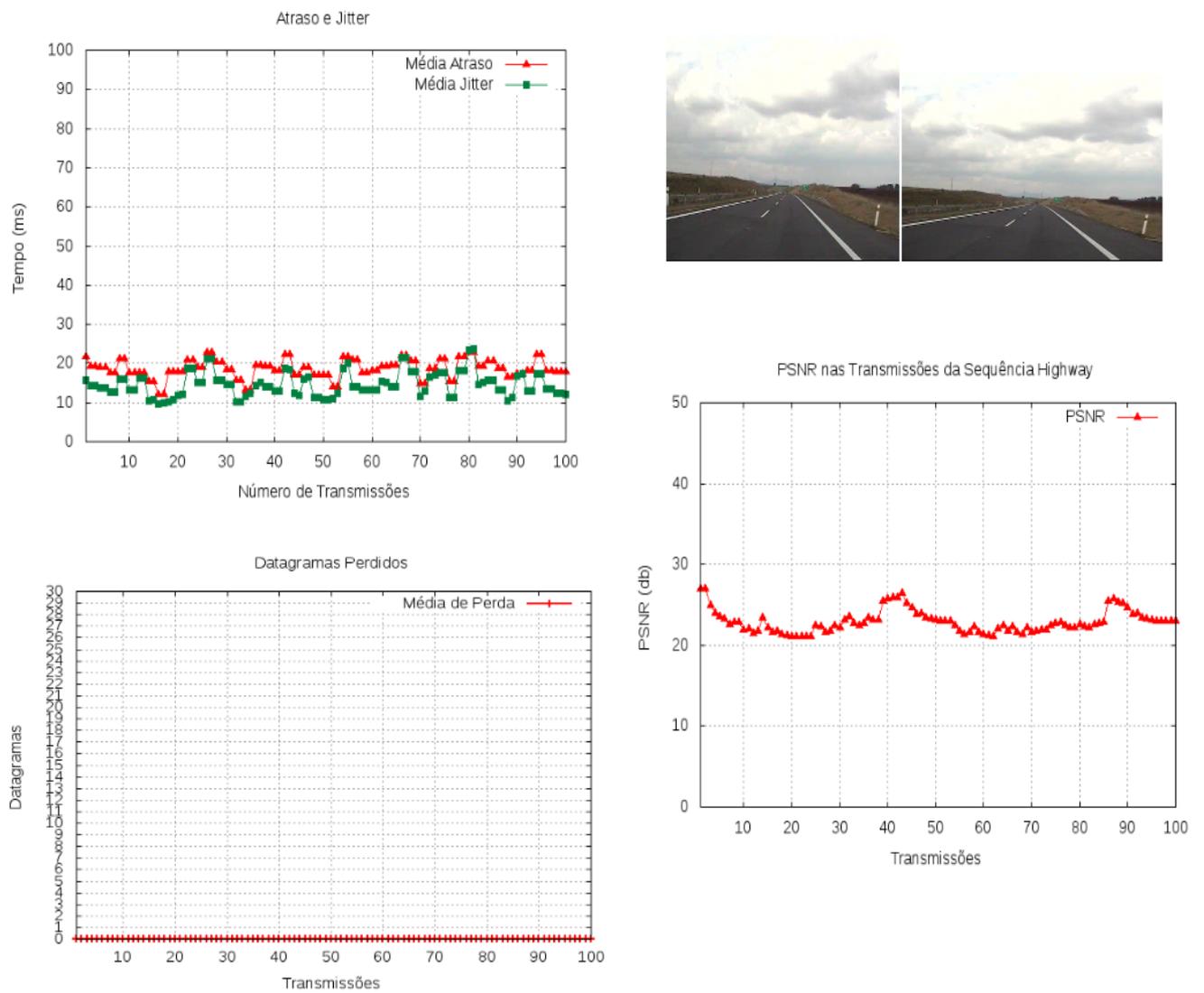


Figura 4.10: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 7

Tabela 4.9: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 07

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	18.71	22.91	12.08	33.16	6.5	12.21 a 25.21
Jitter(ms)	14.6	23.82	9.57	29.96	5.87	8.73 a 20.47
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	23.36	28.72	21.28	1.57	0.31	23.05 a 23.66

Esse fato se repete até que a quantidade de tráfego chegue a 700kbits. Quando isso acontece (grupo 07 - figura 4.10), o vídeo passa a ter 300Kbits para trafegar no **link**. Esse fato reduz a zero a perda de datagramas na rede, visto que o vídeo foi codificado a 300Kbits e, portanto, encontrou, na rede, condições ideais para sua transmissão. Desta forma, junto com a perda, as demais variáveis de rede também diminuem. O atraso e o jitter médios ficaram abaixo de 25ms e, não havendo mais concorrência de tráfego nos roteadores, não há mais atrasos de filas e nem tão pouco descarte de datagramas, que originam as perdas. É interessante notar que, mesmo nessas condições, o PSNR medido, embora tenha apresentado melhoras, não chegou a 30, mostrando que qualquer decisão tomada com base em seus valores, podem sofrer com imprecisões.

Deste ponto em diante, os demais grupos de ensaios apresentaram a redução do atraso e do jitter, permanecendo a perda em zero. Essa redução do atraso e do jitter podem ser explicadas pelo decremento do tráfego de fundo nos ensaios, o que aumenta, na mesma proporção, a disponibilidade da rede para o tráfego de vídeo, reduzindo os atrasos de processamento e transmissão, conforme pode ser observado nas figuras 4.11 a 4.17

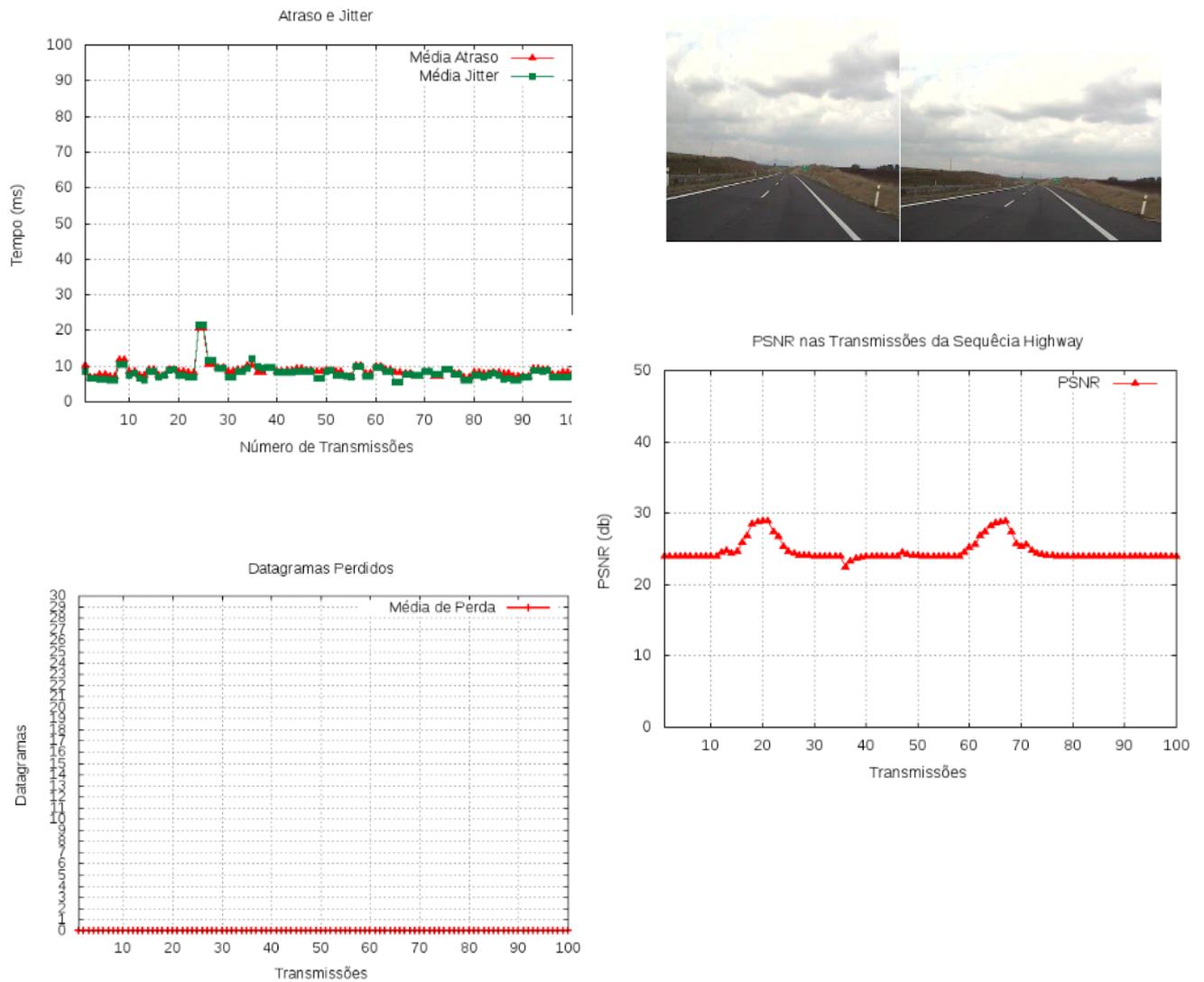


Figura 4.11: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 8

Tabela 4.10: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 08

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	8.76	20.58	7.01	17.92	3.51	5.25 a 12.27
Jitter(ms)	8.2	21.59	5.48	18.31	3.59	4.61 a 11.79
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	25.22	30.65	21.82	1.55	0.3	24.92 a 25.53

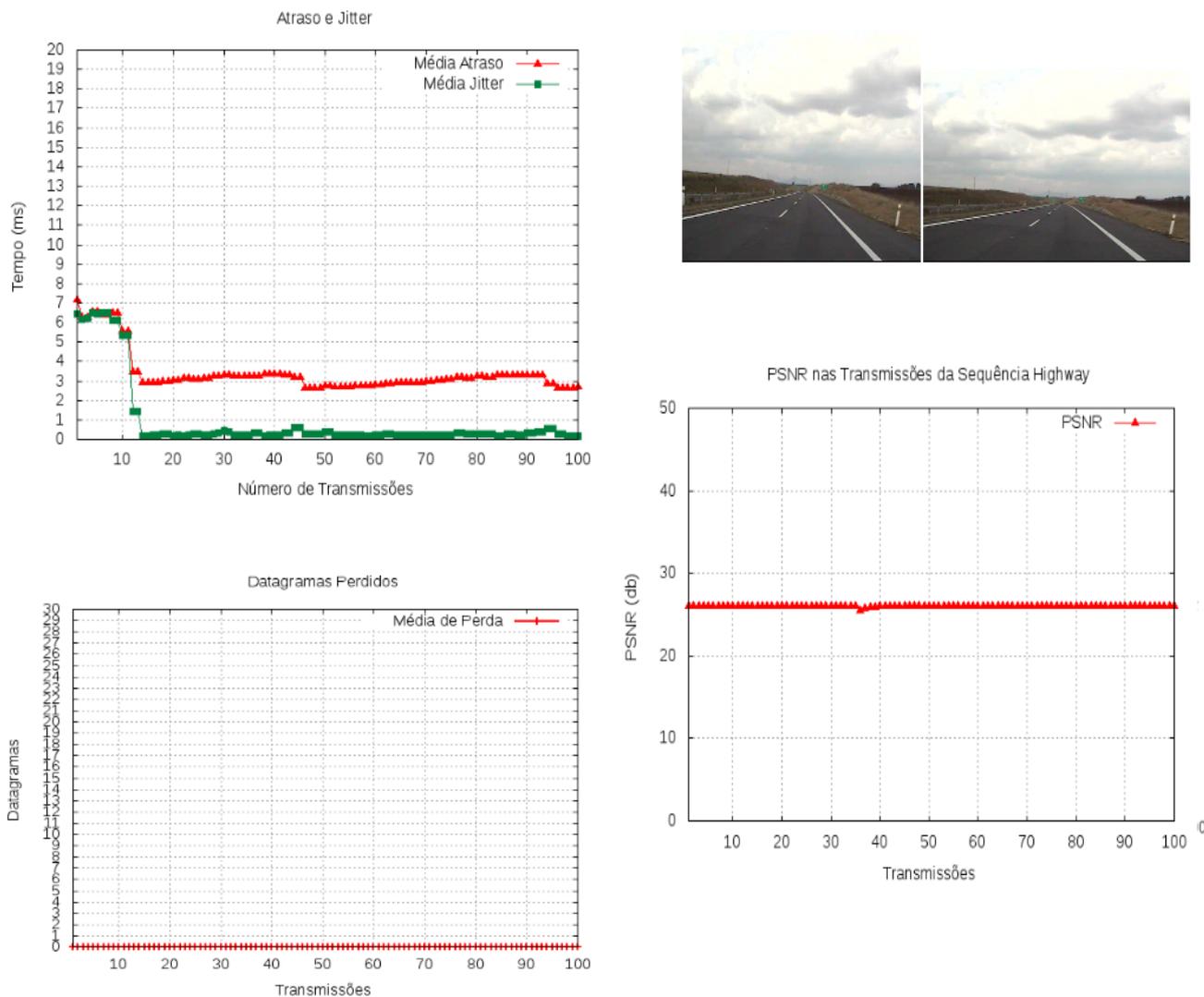


Figura 4.12: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 9

Tabela 4.11: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 09

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	3.44	7.18	2.63	1.95	0.38	3.06 a 3.82
Jitter(ms)	0.99	6.52	0.17	2.1	0.41	0.58 a 1.4
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	26.57	26.6	25.96	0.13	0.03	26.54 a 26.59

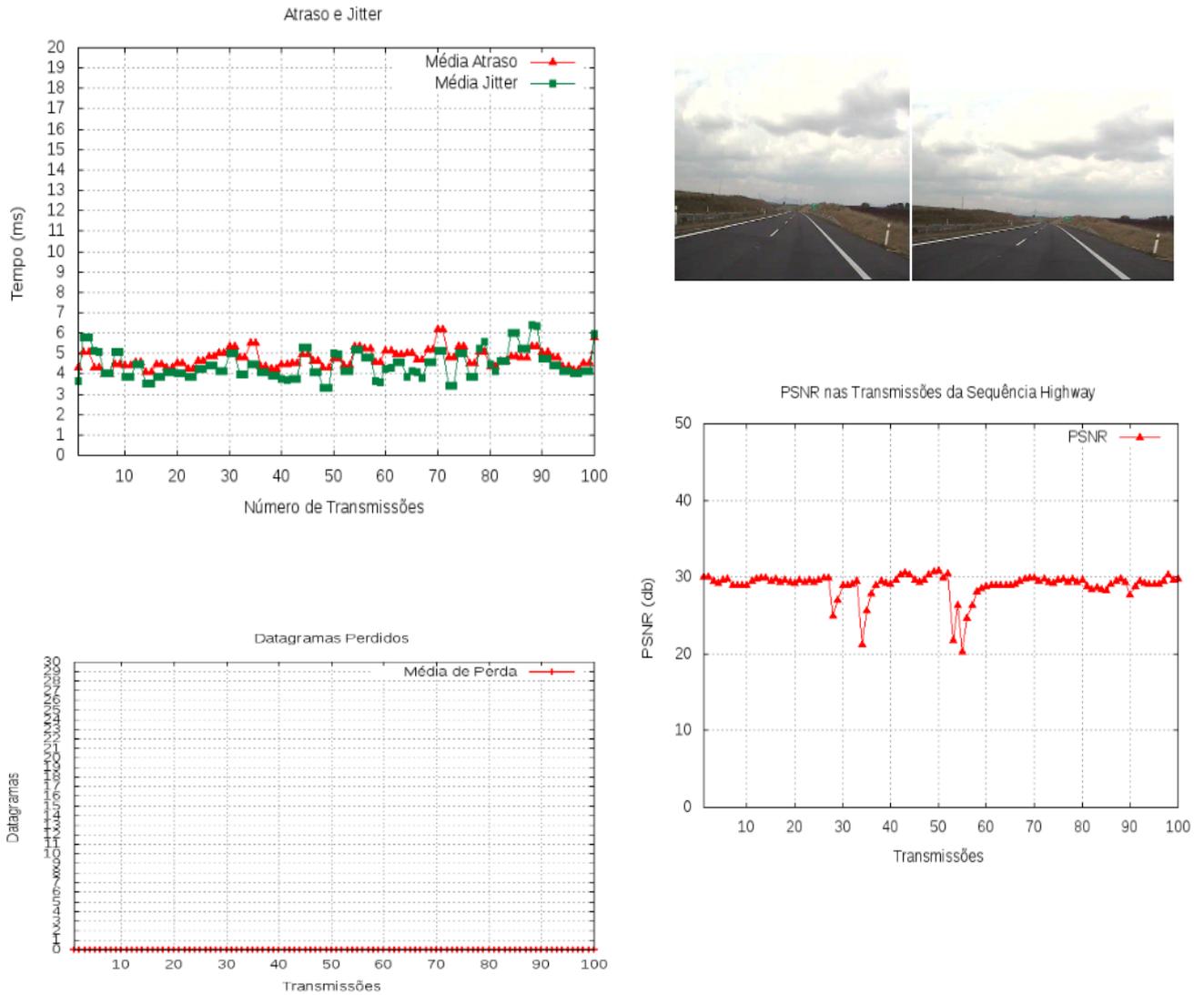


Figura 4.13: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 10

Tabela 4.12: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 10

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	4.74	6.15	3.97	8.3	1.63	3.11 a 6.37
Jitter(ms)	4.42	6.37	3.3	10.26	2.01	2.41 a 6.43
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	29.42	31.37	13	3	0.59	28.84 a 30.01

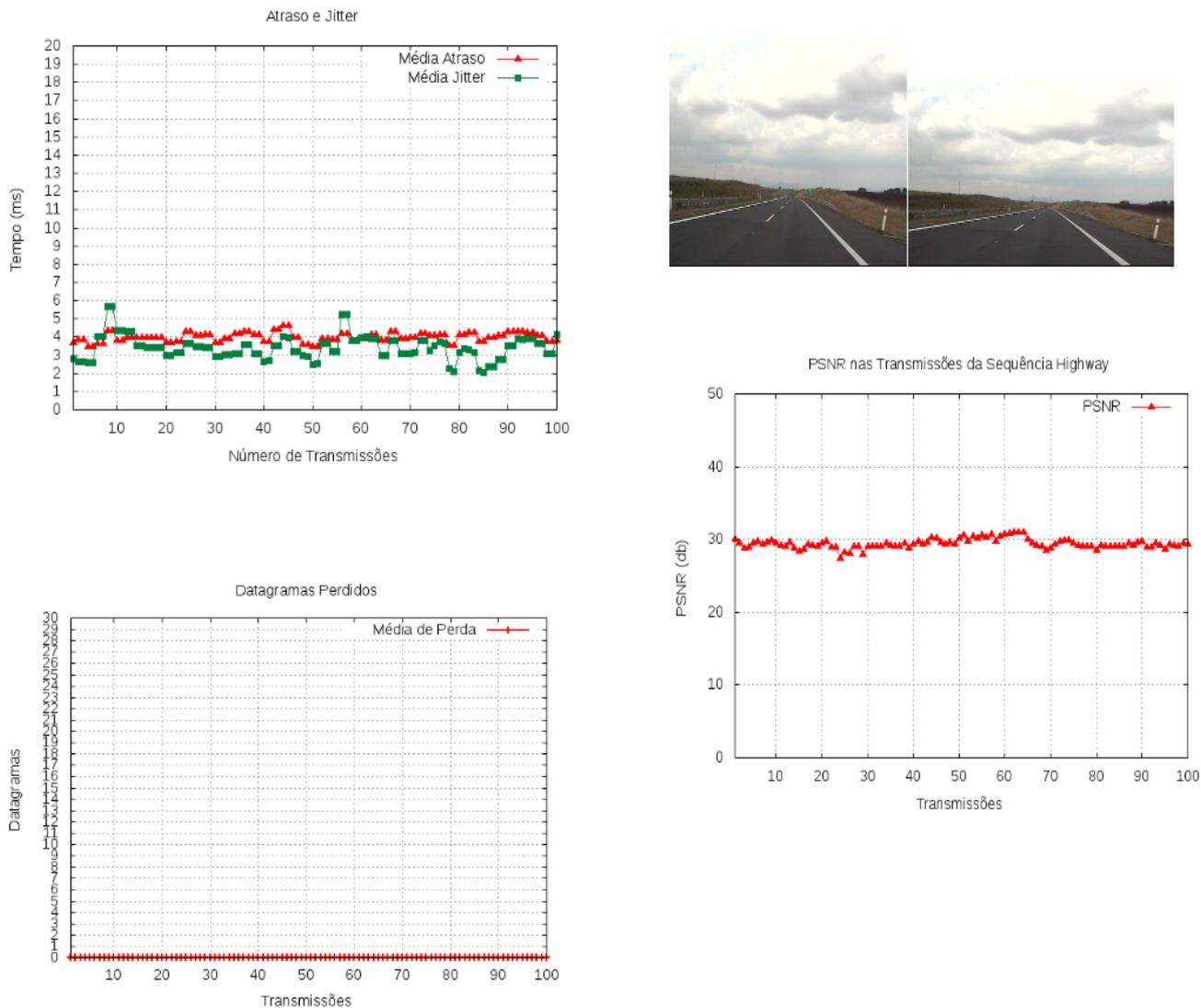


Figura 4.14: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 11

Tabela 4.13: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 11

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	3.98	4.65	3.46	6.21	1.22	2.76 a 5.2
Jitter(ms)	3.4	5.69	2.04	8.17	1.6	1.79 a 5
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	29.89	31.13	26.37	0.82	0.16	29.73 a 30.05

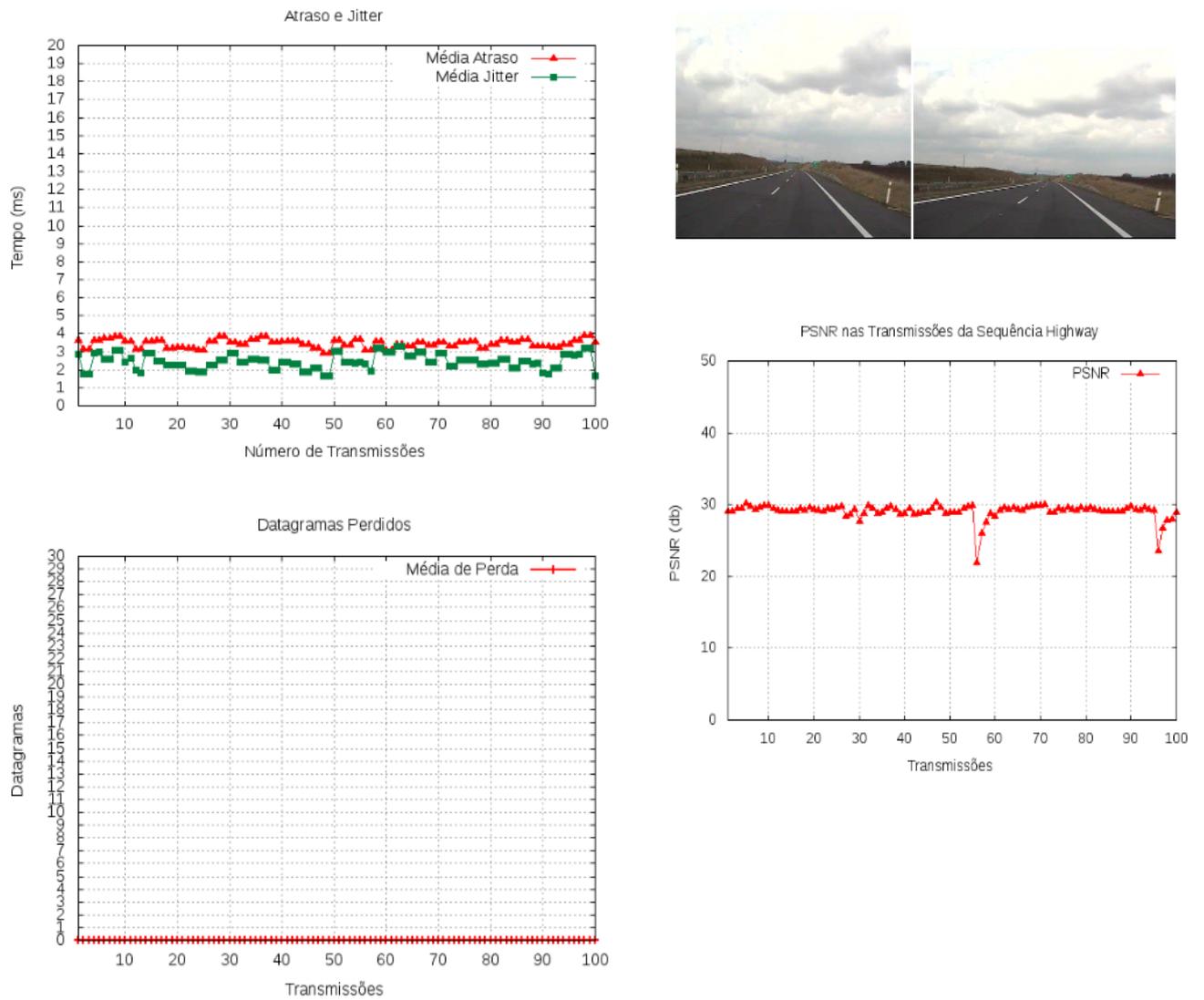


Figura 4.15: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 12

Tabela 4.14: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 12

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	3.46	3.91	2.91	4.7	0.92	2.54 a 4.38
Jitter(ms)	2.47	3.31	1.67	6.28	1.23	1.24 a 3.7
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	29.57	31.48	14.75	2.01	0.39	29.18 a 29.97

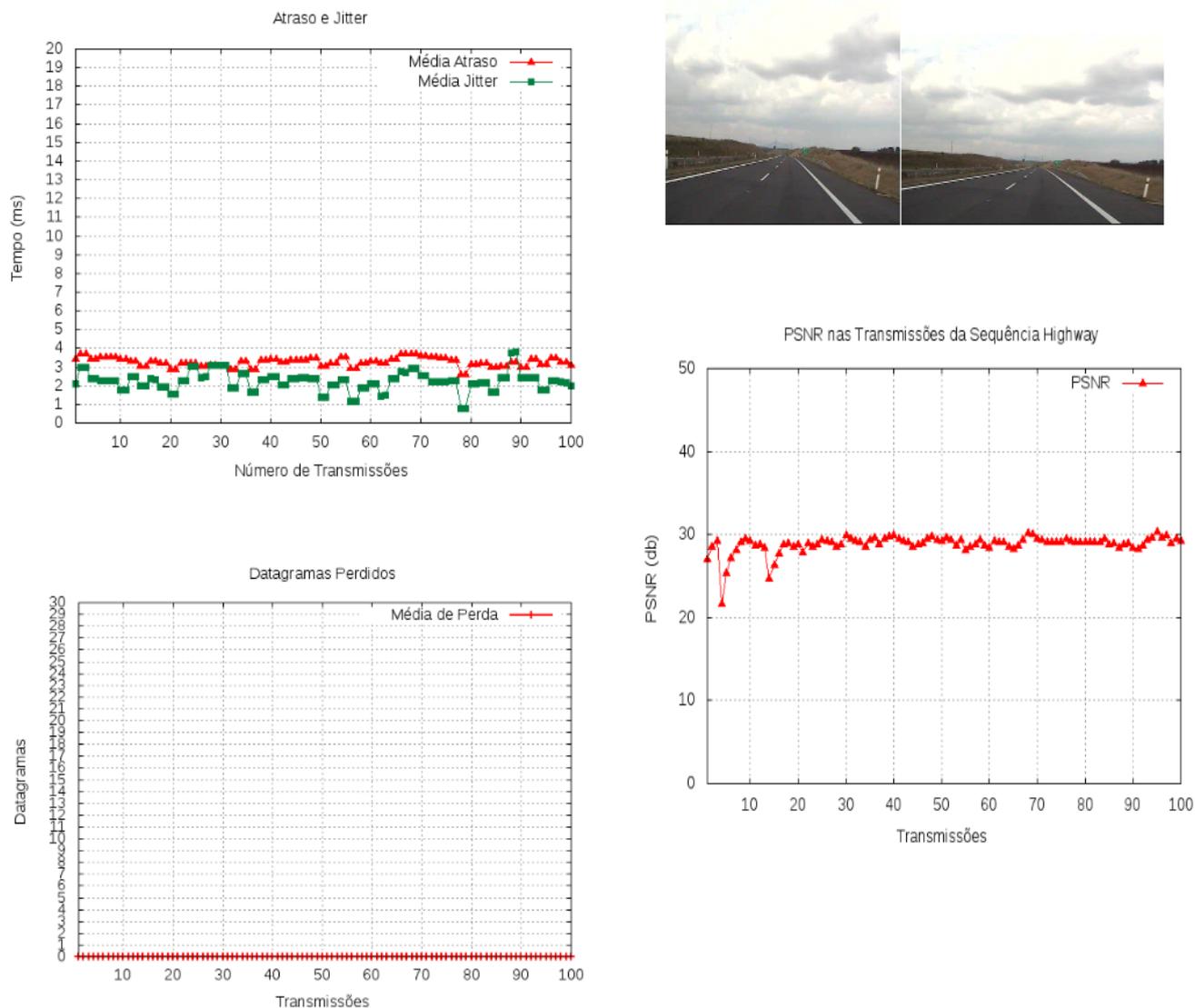


Figura 4.16: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 13

Tabela 4.15: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 13

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	3.26	3.69	2.59	4.22	0.83	2.43 a 4.08
Jitter(ms)	2.23	3.79	0.79	5.67	1.11	1.12 a 3.34
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	29.18	31.32	14.78	2.35	0.46	28.72 a 29.64

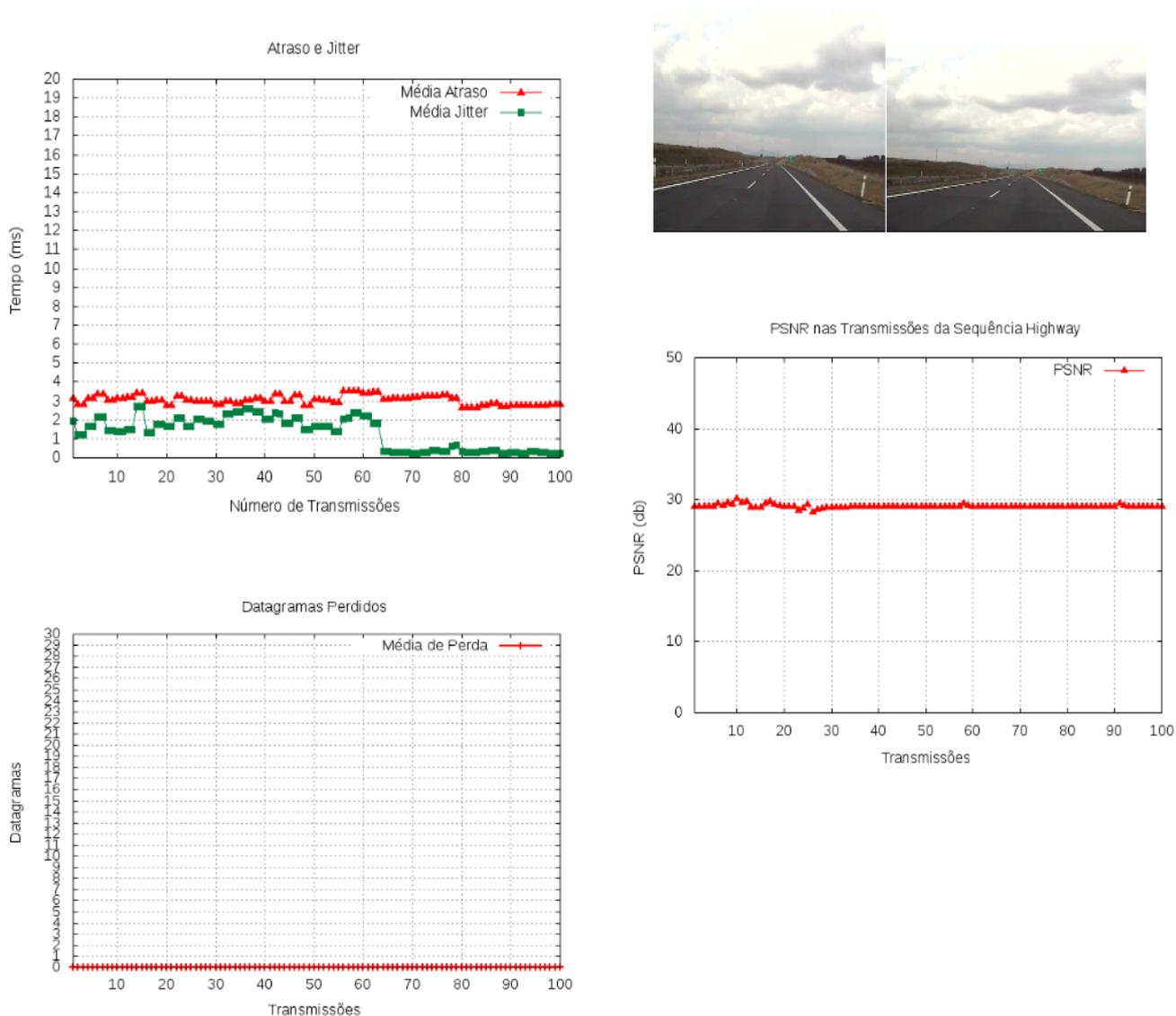


Figura 4.17: Atraso, Jitter, Perda de Pacotes e PSNR no Grupo 14

Tabela 4.16: Valores Médios, máximos, mínimos e de IC medidos para atraso jitter e perda para o grupo 14

	Média	Máximo	Mínimo	DP	Erro	IC para média
Atraso(ms)	3.05	3.54	2.63	2.44	0.48	2.57 a 3.53
Jitter(ms)	1.32	2.69	0.21	3.21	0.63	0.69 a 1.95
Perda(%)	0	0	0	0	0	0 a 0
PSNR(db)	29.29	31.36	27.73	0.47	0.09	29.19 a 29.38

Na figura 4.18 os resultados dos valores de atraso e jitter obtidos durante experimentos feitos com o tráfego variando entre 990 a 100, os resultados dos experimentos feitos com o tráfego variando entre 900 e 100 e os realizados com variação de tráfego entre 990 e 900 (onde foi encontrada maior variação dos parâmetros de rede), possibilitando a melhor visualização dos valores das variáveis medidas durante esses grupos de ensaios.

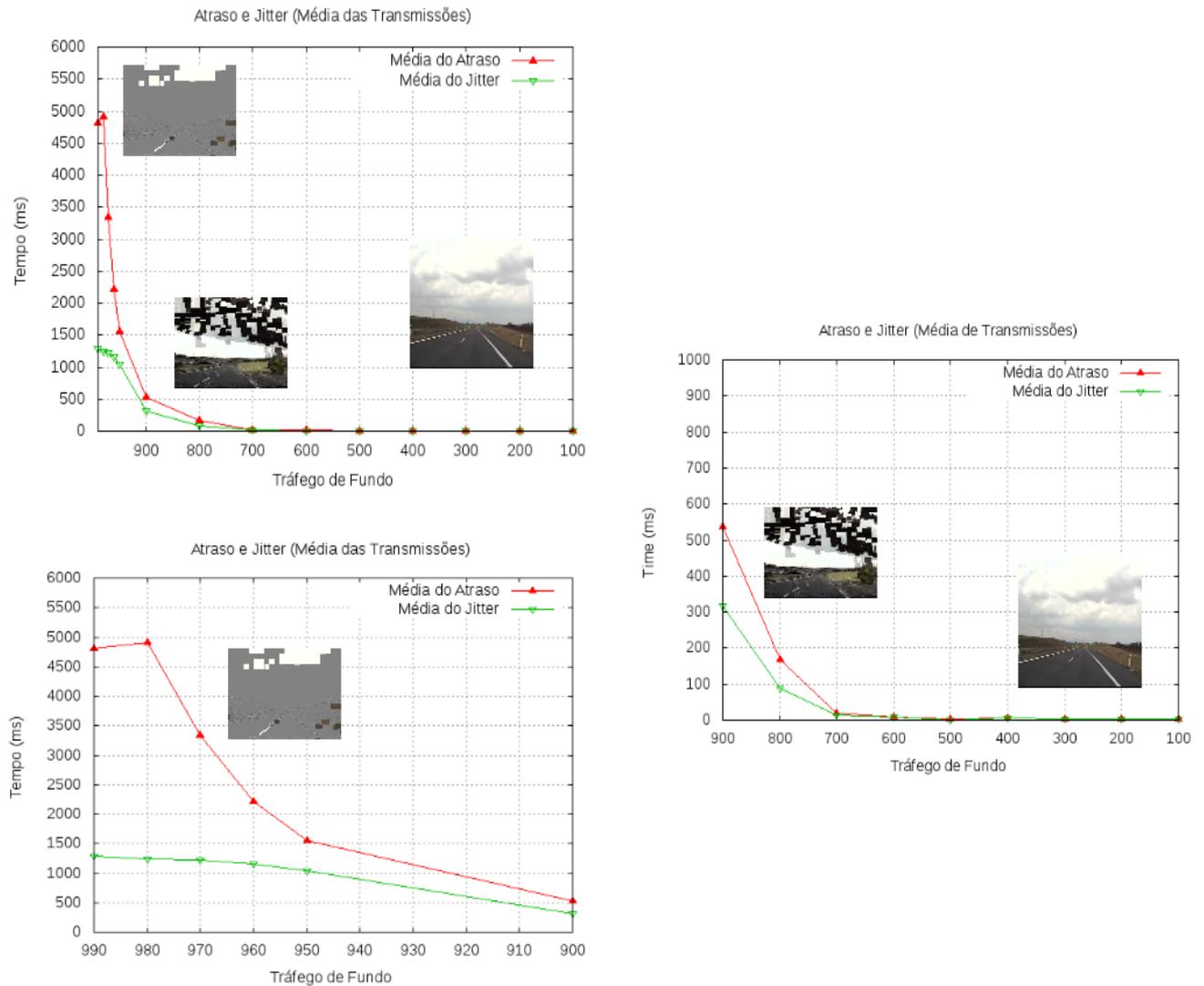


Figura 4.18: Resumo do atraso e do jitter medidos durante os 14 grupos

A figura 4.19, por outro lado, mostra os resultados dos valores da perda de datagramas durante experimentos feitos com o tráfego variando entre 990 a 100, os resultados dos experimentos feitos com o tráfego variando entre 900 e 100 e os realizados com variação de tráfego entre 990 e 900.

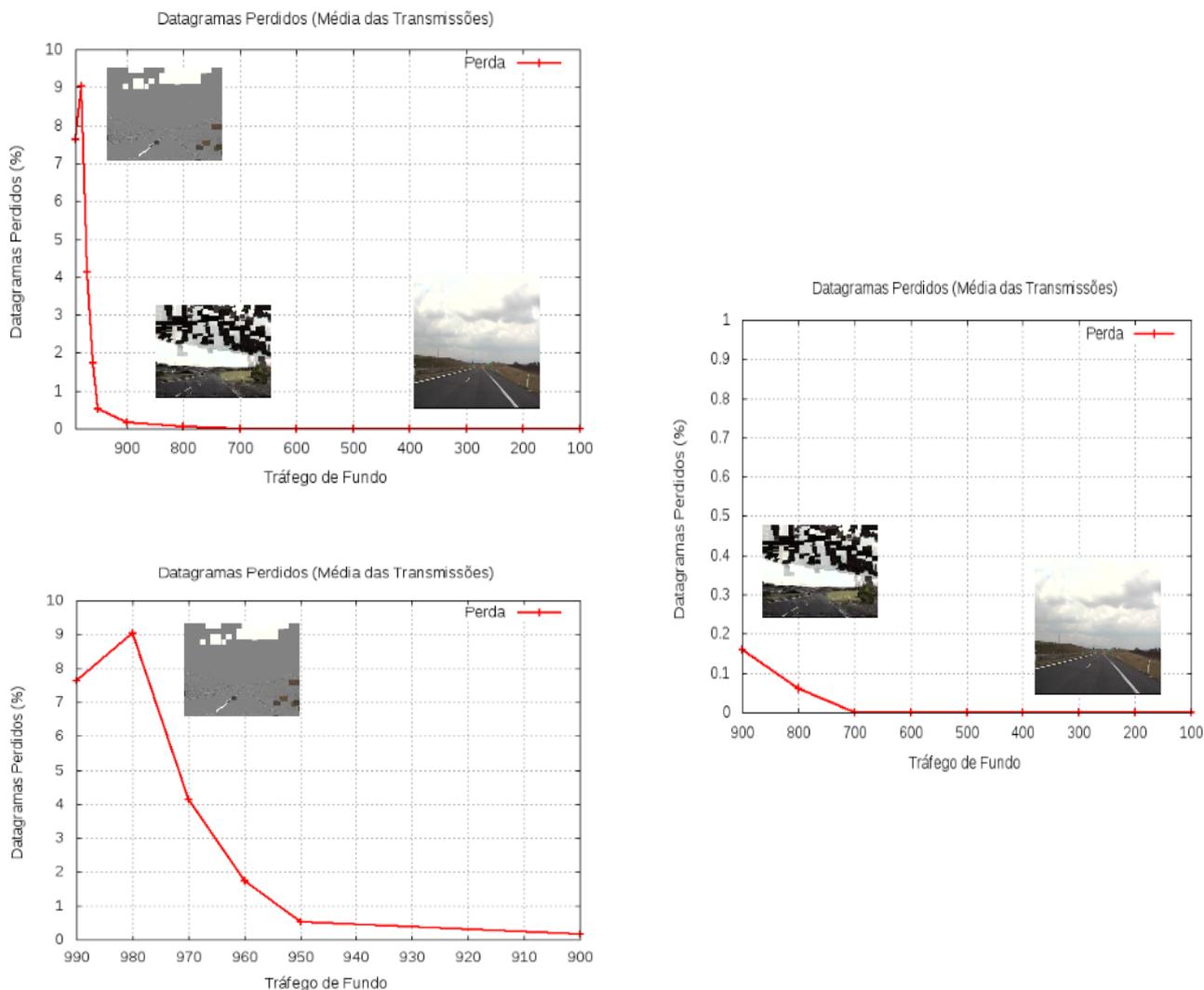


Figura 4.19: Resumo da perda de datagramas durante os 14 grupos

Nas figuras 4.18 and 4.19, pode ser visto que os valores de jitter, atraso e perda influenciam diretamente na qualidade do vídeo recebido que, muitas vezes, não é devidamente identificada pela métrica PSNR. Perdas de datagramas na rede são proibitivas para tráfego de vídeo, assim como valores altos para o jitter e o atraso também. No entanto, de todas as variáveis de rede analisadas, o atraso apresentou menor impacto na transmissão do vídeo, podendo ser considerado como fator com menor ponderação na composição da métrica proposta. Para efeito de visualização, as figuras mostram o resumo dos resultados obtidos, considerando os pontos críticos do conjunto de ensaios.

Após a realização dos ensaios, foi feita a verificação dos intervalos de confiança de cada parâmetro populacional das amostras, visando verificar a existência de diferenças significativas

entre os valores coletados nos ensaios, o que caracteriza o impacto das condições de rede em cada variável considerada, evidenciado na tabela 4.17 e nas figuras 4.20 a 4.23.

Tabela 4.17: Valores de IC para a média de atraso, jitter, perda e PSNR

	IC para média Atraso	IC para média Jitter	IC para média Perda	IC para média PSNR
Ensaio1	3699.89 a 5401.14	743.7 a 1541.81	6.31 a 8.56	15.71 a 16.8
Ensaio2	3802.76 a 5403.13	735.6 a 1408.94	7.67 a 10.23	16.97 a 17.99
Ensaio3	2121.24 a 2851.28	1076.85 a 1526.86	1.62 a 2.44	18.66 a 19.28
Ensaio4	1332.08 a 1914.24	879.53 a 1280.37	0.33 a 0.78	18.73 a 19.6
Ensaio5	432.45 a 633.19	224.36 a 400.68	0 a 0.09	19.96 a 20.35
Ensaio6	136.15 a 206.28	56.85 a 130.71	0 a 0.16	20.25 a 20.46
Ensaio7	12.21 a 25.21	8.73 a 20.47	0 a 0	23.05 a 23.66
Ensaio8	5.25 a 12.27	4.61 a 11.79	0 a 0	24.92 a 25.53
Ensaio9	3.06 a 3.82	0.58 a 1.4	0 a 0	26.54 a 26.59
Ensaio10	3.11 a 6.37	2.41 a 6.43	0 a 0	28.84 a 30.01
Ensaio11	2.76 a 5.2	1.79 a 5	0 a 0	29.73 a 30.05
Ensaio12	2.54 a 4.38	1.24 a 3.7	0 a 0	29.18 a 29.97
Ensaio13	2.43 a 4.08	1.12 a 3.34	0 a 0	28.72 a 29.64
Ensaio14	2.57 a 3.53	0.69 a 1.95	0 a 0	29.19 a 29.38

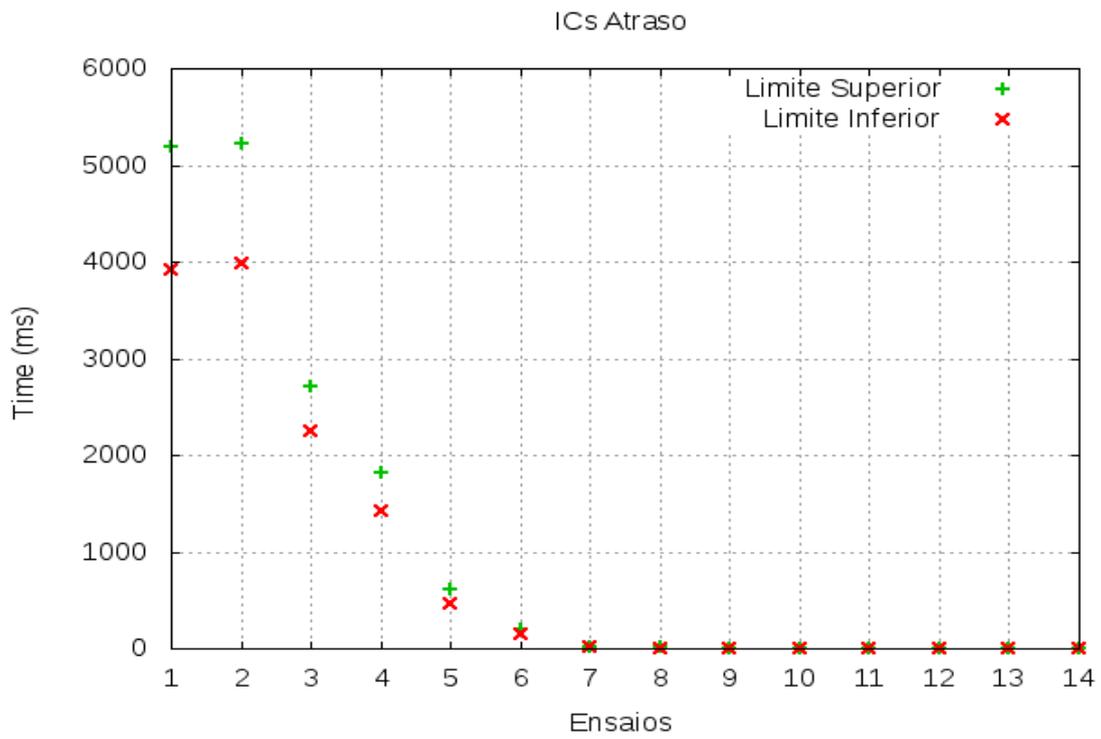


Figura 4.20: IC para média do Atraso nos Grupo 1 a 14

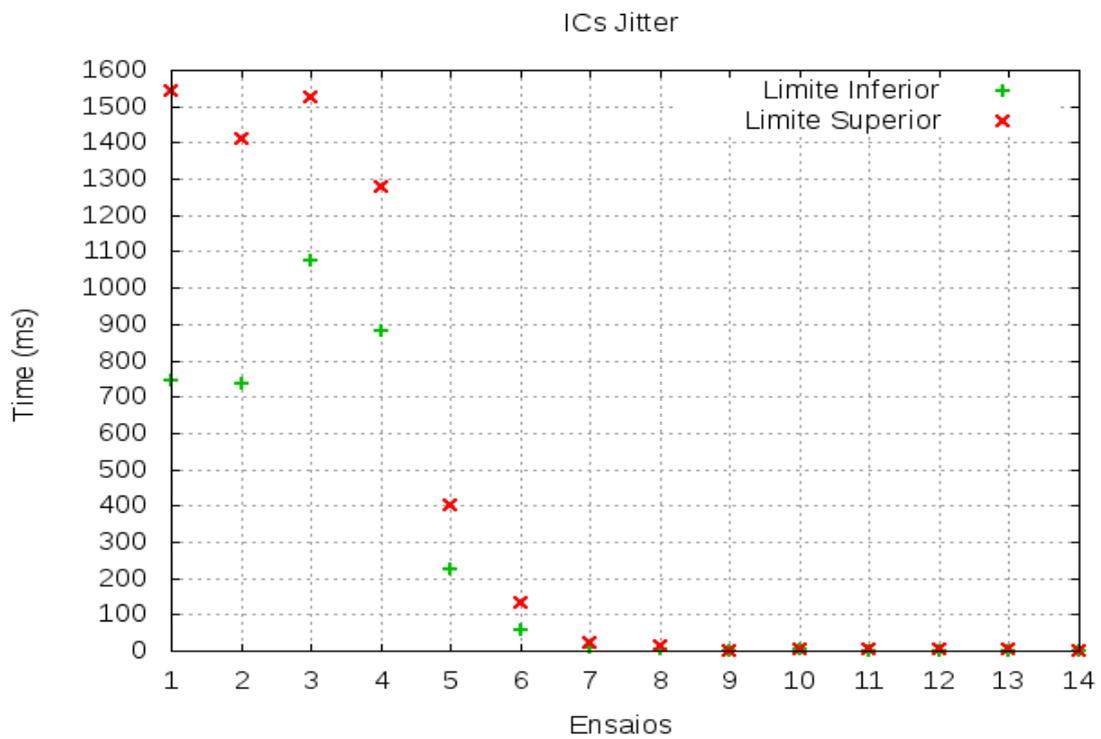


Figura 4.21: IC para média do Jitter nos Grupo 1 a 14

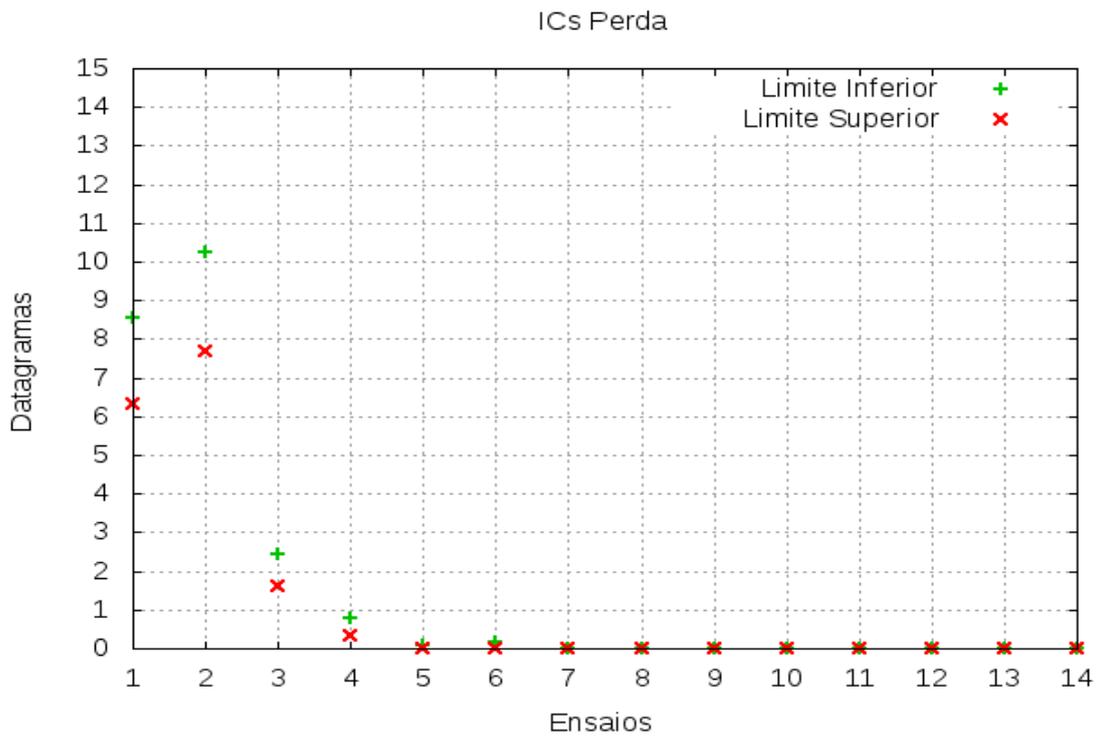


Figura 4.22: IC para média da Perda nos Grupo 1 a 14

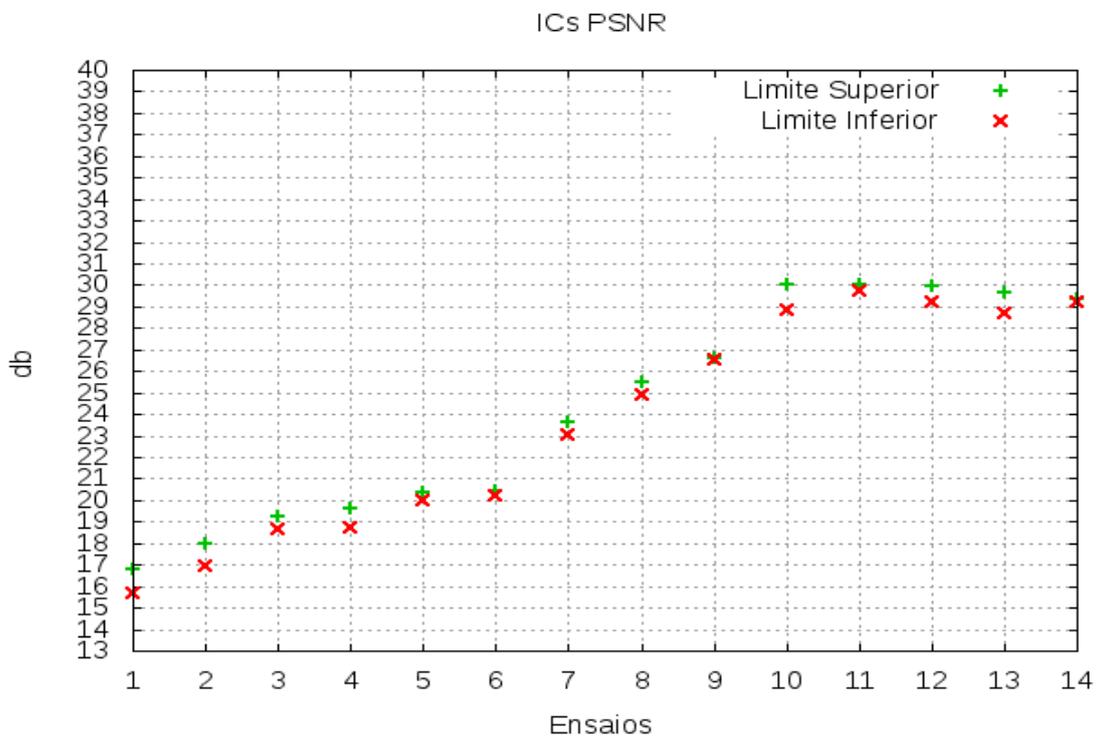


Figura 4.23: IC para média do PSNR nos Grupo 1 a 14

Como pode ser observado, os parâmetros populacionais atraso, jitter e perda de pacotes sofrem influência do tráfego injetado na rede, visto que seus intervalos de confiança, observados em cada ensaio, não se sobrepõem, mostrando que há diferenças significativas dos valores das médias do parâmetro analisado em cada ensaio. Por outro lado, o parâmetro PSNR não se mostrou sensível às condições da rede. Conforme pode ser visto na tabela 4.17, os intervalos de confiança para a média dessa variável não apresentaram diferenças significativas entre os ensaios com diferentes valores de tráfego agregado.

Desta forma, foi possível concluir que a métrica PSNR não traduz bem a qualidade de um vídeo transmitido em uma rede de computadores, visto sua falta de sensibilidade às variações de tráfego e a conseqüente variação dos valores das métricas de QoS atraso, jitter e perda de pacotes.

Partindo da premissa de que há uma relação linear entre as variáveis de rede atraso, jitter, perda de pacotes e a métrica PSNR, foi determinado um modelo linear de predição do PSNR, mostrado na equação 4.10.

$$Y = b_0 + b_1.x_j + b_2.x_a + b_3.x_p, \quad (4.10)$$

onde:

- Y = PSNR estimado;
- b_0 = Coeficiente de ajuste linear;
- b_1 = Coeficiente Jitter;
- x_j = Valor médio do jitter;
- b_2 = Coeficiente Atraso;
- x_a = Valor médio do Atraso;
- b_3 = Coeficiente Perda;
- x_p = Valor médio da Perda.

Para tentar verificar qual a influência de cada variável de rede considerada, na métrica PSNR, foram desenvolvidos modelos matemáticos multivariados, através de análise de regressão linear múltipla normal, para estimar o PSNR em função das variáveis métricas: jitter, atraso e perda, utilizando os valores coletados de cada variável em cada ensaio. A necessidade da análise multivariada pode ser justificada pelo fato de não ser possível, em ambiente real, analisar separadamente cada variável, visto que todas atuam juntas em uma rede.

Assim, foram analisados atraso, jitter e perda de pacotes como variáveis independentes e PSNR como variável dependente, resultando em um sistema de equações lineares mostrado abaixo:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{ji} & \sum_{i=1}^n x_{ai} & \sum_{i=1}^n x_{pi} \\ \sum_{i=1}^n x_{ji} & \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 & \sum_{i=1}^n x_{ai}x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{ji} \\ \sum_{i=1}^n x_{ai} & \sum_{i=1}^n x_{ji}x_{ai} & \sum_{i=1}^n x_{ai}^2 & \sum_{i=1}^n x_{3i}x_{ai} \\ \sum_{i=1}^n x_{pi} & \sum_{i=1}^n x_{ji}x_{pi} & \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{pi} & \sum_{i=1}^n x_{pi}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{ji}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{ai}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{pi}y_i \end{bmatrix}$$

Os valores de b_0, b_1, b_2 e b_3 representam o impacto de cada variável independente no resultado do PSNR e foram obtidos a partir da solução deste sistema, através do método iterativo de Gauss-Seidel, usando $k=8$ iterações. Para cada grupo de ensaios, os valores destes coeficientes foram encontrados, usando as equações abaixo:

$$\begin{aligned} b_0 &= \left(\frac{1}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^n y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{ji} \cdot b_{1k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{ai} \cdot b_{2k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{pi} \cdot b_{3k-1} \right) \right) \\ b_1 &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n x_{ji}^2}\right) \left(\sum_{i=1}^n x_{ji}y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{ji} \cdot b_{0k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{ai}x_{1i} \cdot b_{2k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{3i}x_{ji} \cdot b_{3k-1} \right) \right) \\ b_2 &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n x_{ji}x_{ai}}\right) \left(\sum_{i=1}^n x_{ai}y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{ai} \cdot b_{0k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{ji}x_{ai} \cdot b_{1k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{3i}x_{ai} \cdot b_{3k-1} \right) \right) \\ b_3 &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n x_{pi}^2}\right) \left(\sum_{i=1}^n x_{pi}y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{pi} \cdot b_{0k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{ji}x_{pi} \cdot b_{1k-1} \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_{2i}x_{pi} \cdot b_{2k-1} \right) \right) \end{aligned}$$

Após as 8 iterações, foram encontrados 8 valores para cada um dos coeficientes, os quais foram usados em cada um dos 14 cenários, visando estimar os valores de PSNR. Desta forma, os 8 valores de PSNR estimados para cada grupo de ensaios, foram comparados com os obtidos experimentalmente, visando verificar qual dos 8 conjuntos de coeficientes obtidos possuía maior coeficiente de determinação, usando a equação abaixo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}$$

Desta forma, o conjunto de coeficientes que apresentou maior coeficiente de determinação, foi o escolhido para completar o modelo de predição de PSNR, sendo encontrados os seguintes modelos para prever o PSNR no grupo de ensaio 01 (pior caso) e para o grupo de ensaio 14 (melhor caso).

- Grupo 01: $Y = -0,00027x_j + 0,00002x_a + 0,00285x_p + 16,28030$, com coeficiente de determinação de 0,01
- Grupo 14: $Y = -0,02806x_j + -0,00860x_a + 0,29742x_p + 29,27026$, com coeficiente de

determinação de 0,01

Para tentar encontrar um modelo geral, que possa ser aplicado em qualquer cenário, foram determinados os valores mínimo e máximo para o PSNR e encontrada uma razão de progressão entre esses valores, considerando a existência de uma progressão linear. Dessa forma, foram considerados:

- $V_{min_{psnr}}$ = Valor mínimo de PSNR = 10;
- $V_{max_{psnr}}$ = Valor máximo de PSNR = 50;
- n = Tamanho da amostra = 14 (grupos de ensaios);
- r = Valor da razão de progressão = $\frac{V_{max_{psnr}} - V_{min_{psnr}}}{n-1} = 3,76923$.

O modelo, então, pode ser expresso por:

$$Y = 43.0638277491 - 0.0167234071.x_j - 0.0001464248.x_a - 0.1271443934.x_p \quad (4.11)$$

com coeficiente de determinação de 0.5961663700.

4.3.1.3 A métrica

Após a análise experimental dos impactos das métricas de QoS na transmissão de vídeos em uma rede baseada no protocolo IP, é apresentada a métrica objetiva e sem referência, capaz de informar às aplicações qual a possível qualidade de um vídeo, sendo ou a ser transmitido, em uma determinada rede.

Para isso, é proposta uma equação que leve em consideração cada um dos parâmetros de QoS estudados (atraso, jitter e perda), visando determinar um valor compatível com a escala MOS, que possa indicar a disponibilidade daquela rede para a transmissão de vídeo.

Com o objetivo de encontrar um valor para a métrica proposta, aderente à escala MOS, foi considerada uma relação linear entre os valores máximo e mínimo de cada métrica de QoS utilizada e os valores da escala MOS. No entanto, como o atraso, o jitter e a perda de pacotes variam bastante em uma condição real de rede, é difícil estabelecer limites máximos para cada uma delas, o que levou a necessidade da utilização do coeficiente de variação de cada métrica, considerando sua característica adimensional e seus valores variando entre limites bem definidos (0 e 1).

Assim, considerando uma relação linear entre os valores do coeficiente de variação das métricas atraso, jitter e perda e os valores da escala MOS, obtem-se uma equação de reta com pontos limites $(5, V_{min})$ e $(1, V_{max})$, onde V_{min} e V_{max} são, respectivamente, os valores mínimo e máximo, medidos

para cada métrica de rede. Dessa forma, foi definido, para a utilização das métricas atraso, jitter e perda, a equação 4.16 abaixo, baseada no sistema linear:

$$5 = V_{min}.a + b \quad (4.12)$$

De 4.12, tem-se:

$$b = 1 - V_{max}.a \quad (4.13)$$

De 4.13, encontra-se:

$$a = \frac{-4}{\Delta V} \quad (4.14)$$

$$b = \frac{(\Delta V + 4.V_{max})}{\Delta V} \quad (4.15)$$

e

$$y = \frac{-4}{\Delta V} \cdot (x - V_{max}) + 1 \quad (4.16)$$

Onde:

- V_{max} =Valor máximo da métrica medida
- V_{min} =Valor mínimo da métrica medida
- $\Delta V = V_{max} - V_{min}$
- x =Valor médio medido para a métrica
- y =Valor final da avaliação da métrica aderente à escala MOS

Considerando as 3 métricas de rede (jitter, atraso e perda), tem-se:

$$y_j = \frac{-4}{\Delta V_j} \cdot (x_j - V_{maxj}) + 1 \quad (4.17)$$

$$y_a = \frac{-4}{\Delta V_a} \cdot (x_a - V_{maxa}) + 1 \quad (4.18)$$

$$y_p = \frac{-4}{\Delta V_p} \cdot (x_p - V_{maxp}) + 1 \quad (4.19)$$

Onde:

- y_j =Valor da análise da métrica jitter;
- V_{maxj} =Valor máximo medido para métrica jitter;
- V_{minj} =Valor mínimo medido para a métrica jitter;
- ΔV_j =Diferença entre V_{maxj} e V_{minj} ;
- x_j =Valor médio medido para a métrica jitter;
- y_a =Valor da análise da métrica atraso;
- V_{maxa} =Valor máximo medido para a métrica atraso;
- V_{mina} =Valor mínimo medido para a métrica atraso;
- ΔV_a =Diferença entre V_{maxa} e V_{mina} ;
- x_a =Valor médio medido para a métrica atraso;
- y_p =Valor da análise da métrica perda;
- V_{maxp} =Valor máximo medido para a métrica perda;
- V_{minp} =Valor mínimo medido para a métrica perda;
- ΔV_p =Diferença entre V_{maxp} e V_{minp} ;
- x_p =Valor médio medido para a métrica perda.

A métrica proposta, batizada de Network Quality Metric (NQM), consiste então, de uma equação que efetua uma soma ponderada de cada um dos valores encontrados pela aplicação das equações 4.17, 4.18 e 4.19, resultando em

$$NQM = y_j \cdot \alpha + y_a \cdot \beta + y_p \cdot \delta + \gamma. \quad (4.20)$$

Assim, como feito para a PSNR, a predição dos valores de NQM foi feita usando fatores de ponderação para cada métrica de rede observada. Sendo assim, a mesma metodologia seguida para a obtenção do modelo de predição dos valores de PSNR, no que diz respeito à determinação dos coeficientes de ponderação de cada termo da métrica foi utilizada, chegando aos seguintes valores:

- $\alpha = -0.0005623904$
- $\beta = -0.0000231087$
- $\delta = -0.0004677436$
- $\gamma = 3.4598312501$

Os valores de α , β e δ representam os coeficientes de ponderação de cada um dos parâmetros utilizados e foram considerados para flexibilizar a métrica proposta, permitindo a aplicação da mesma, considerando vários tipos de tráfego. Os valores destes coeficientes podem determinar a qualidade de uma rede para um usuário que precise usar um serviço específico, caracterizado por seu tipo de tráfego e, por esta razão, devem ser devidamente dimensionados de acordo com seus impactos, neste ou naquele tipo de tráfego.

Pode ser observado que o atraso apresenta menor impacto, seguido do **jitter** e da perda. Este fato pode ser interpretado como consequência direta da falta de sensibilidade da métrica PSNR ao fator tempo. Por esta razão, o maior coeficiente de ponderação usado para os testes com a NQM foi dado à perda de pacotes na rede.

De acordo com os experimentos realizados, o atraso gera menos impacto na qualidade do vídeo, visto que uma rede pode ter um alto atraso, com **jitter** baixo e constante e sem perda, que estará apta a suportar a transmissão de um vídeo com qualidade. O mesmo não pode ser dito de uma rede com atraso baixo, mas com valores de **jitter** altos e variados e ainda apresentando perdas.

Visando ilustrar o funcionamento da métrica proposta, podem ser considerados os valores médios de atraso, jitter e perda de pacotes medidos na terceira das 100 repetições do experimento realizado no grupo de ensaio 01:

- $x_j = 3511.8$
- $x_a = 7512.21$
- $x_p = 14$

Assim:

$$NQM = 3511.8 \cdot -0.0005623904 + 7512.21 \cdot -0.0000231087 + 14 \cdot -0.0004677436 + 3.4598312501$$

$$NQM = 1.3047496370$$

Por outro lado, se considerada a terceira repetição do experimento realizado no grupo de ensaio 14, observa-se os seguintes valores:

- $x_j = 1.2$
- $x_a = 2.81$
- $x_p = 0$

Assim:

$$NQM = 1.2 \cdot -0.0005623904 + 2.81 \cdot -0.0000231087 + 0 \cdot -0.0004677436 + 3.4598312501$$

$$NQM = 3.4590914710$$

4.4 Arquitetura do QoV-NS

O QoV-NS é uma forma alternativa de seleção de rede. O QoV-NS atua na camada de rede e é composto de dois módulos: o Coletor, o Decisor e uma API opcional, para que as aplicações possam interagir com a arquitetura, visando informar qual o tipo de tráfego deve ser considerado para a decisão de *handover*.

A proposta autor desta tese é baseada numa tentativa de manter a máxima independência de operadoras de rede, visando tornar possível e viável uma implementação real da solução. Como a maioria das operadoras de rede é bastante resistente à abertura de suas bases de dados e de seus procedimentos de gerência adotados no núcleo de suas redes, a decisão foi optar por um modelo de seleção de rede totalmente baseado no móvel. A seleção dessas redes é feita usando a métrica NQM, descrita acima, e serve como gatilho para os procedimentos de registro, tunelamento e reconexão IP, realizados pelo protocolo SMIP [Monteiro and Gondim 2010a].

Assim, a opção adotada foi a de fornecer aos usuários de redes sem fio heterogêneas, uma alternativa de seleção de rede, baseada na qualidade de experiência dos mesmos na recepção de vídeos (ou de qualquer outra aplicação), usando implementações feitas no móvel para medir essa qualidade, usando métricas objetivas que não considerem, no caso de vídeo, a existência da sequência original como referência.

Sendo assim, a arquitetura adotada pelo autor deste trabalho utiliza uma métrica sem referência, composta pelas variáveis de QoS da rede e que podem refletir a possibilidade de um determinado tipo de tráfego estar sendo (ou ser) entregue ao móvel com qualidade, aferindo assim, a disponibilidade daquela rede oferecer uma boa qualidade de experiência ao usuário. Essa métrica é então capaz de verificar qual rede está em melhores condições de atender ao móvel, dentro do conjunto de redes ao qual ele está conectado, disparando o processo de reconexão IP, logo que percebido que os valores medidos ultrapassaram o limite inferior.

A figura 4.24 mostra a arquitetura proposta e sua estrutura operacional. Em linhas gerais, o QoV-NS fornece uma *interface* para a aplicação do usuário, em forma de uma API, contendo duas funções: uma, com a qual a aplicação ativa ou desativa o módulo COLETOR e outra, através da qual a aplicação pode informar ao módulo DECISOR, quais os valores de ponderação de cada variável de rede envolvida na composição da métrica NQM, descrita na seção anterior.

Desta forma, o módulo DECISOR pode encontrar o valor de NQM apropriado para o tipo de tráfego exigido por uma determinada aplicação, podendo existir várias instâncias dos módulos do QoV-NS, uma para cada tipo de aplicação sendo executada.

Uma vez iniciado o QoV-NS, sua operação é simples e consiste na atuação periódica do módulo COLETOR, que coleta os valores de ATRASO, JITTER e PERDA DE PACOTES, em cada uma das redes disponíveis, usando para isso um *host* devidamente informado pela aplicação do usuário, através da função de ativação do módulo COLETOR. Esse host deve estar em uma rede IP acessível pelo móvel através de todas as *interfaces* ativas, o que significa que esse destino precisa estar dentro de uma rede roteável dentro da Internet, visto que é considerado que cada *interface* ativa

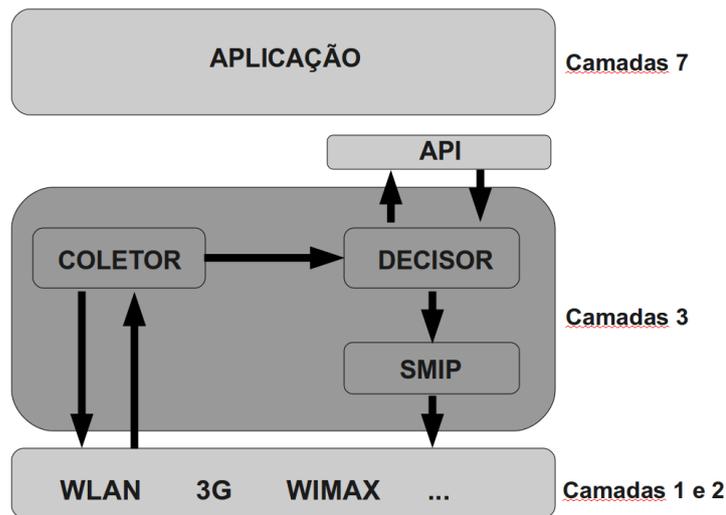


Figura 4.24: Arquitetura QoV-NS

do móvel está conectada a uma rede com operadoras diferentes.

A coleta é feita usando n requisições *ICMP* para o *host* destino, continuamente em cada *interface* ativa (conexão IP disponível) durante m *rounds* (os valores de n , *rounds*, *host* e m , são configuráveis pelo usuário). A cada *round* são computados os valores de cada variável de rede e fornecido ao DECISOR, que calcula e armazena a NQM. Ao final dos m *rounds* de medições, o DECISOR encontra a média dos valores de NQM calculados para cada rede e verifica se a média da rede atual está abaixo de 3. Se estiver, o referido módulo solicita a alteração da rota *default* do móvel para a próxima rede com NQM médio maior ou igual a 3, caso exista, informando ao SMIP [Monteiro and Gondim 2010a], que deve iniciar o procedimento de tunelamento e re-conexão IP. No caso de não existir rede com esse valor de NQM, o DECISOR não altera a rede de saída, aguardando o resultado das novas coletas, para poder calcular os novos valores para NQM. Considerando um tempo médio do RTT das requisições *ICMP* t_M e que as medidas das redes são contínuas, o tempo entre o final de um conjunto de medições e o início do próximo é dado por t_M , assim como o tempo de cada conjunto de medições é $10t_M$.

A vantagem de ter uma arquitetura de seleção de redes baseada em uma métrica que considera apenas variáveis de rede medidas no móvel é que é possível, usando os fatores de ponderação de cada variável de rede, determinar qual das redes possui melhores condições de aceitar (ou manter) aquela conexão, mantendo assim a qualidade da mesma, sem necessidade de alteração na infraestrutura das redes envolvidas.

Essa abordagem é eficiente, visto que mede o processo de interoperação entre redes sem fio heterogêneas, proporcionando a cooperação entre elas sob o ponto de vista do usuário, contribuindo, juntamente com soluções de mobilidade IP, a manter a continuidade de conexões durante o *handover*, sem a necessidade de alterações no núcleo das redes envolvidas.

O resumo do trabalho da arquitetura é mostrado na 4.25. É explicitado o fluxo de procedi-

mentos realizados pela arquitetura do QoV-NS, considerando o funcionamento dos componentes COLETOR e DECISOR, além da utilização de uma versão especializada do MIP, o SMIP.

Observando a figura 4.25, os rótulos com a letra “A”, indicam que os procedimentos são executados pela aplicação do usuário, enquanto que as rotuladas com a letra “B”, mostram os procedimentos executados pelo módulo COLETOR e por fim, as rotuladas com a letra “C”, apresentam os procedimentos realizados pelo módulo DECISOR da proposta aqui apresentada.

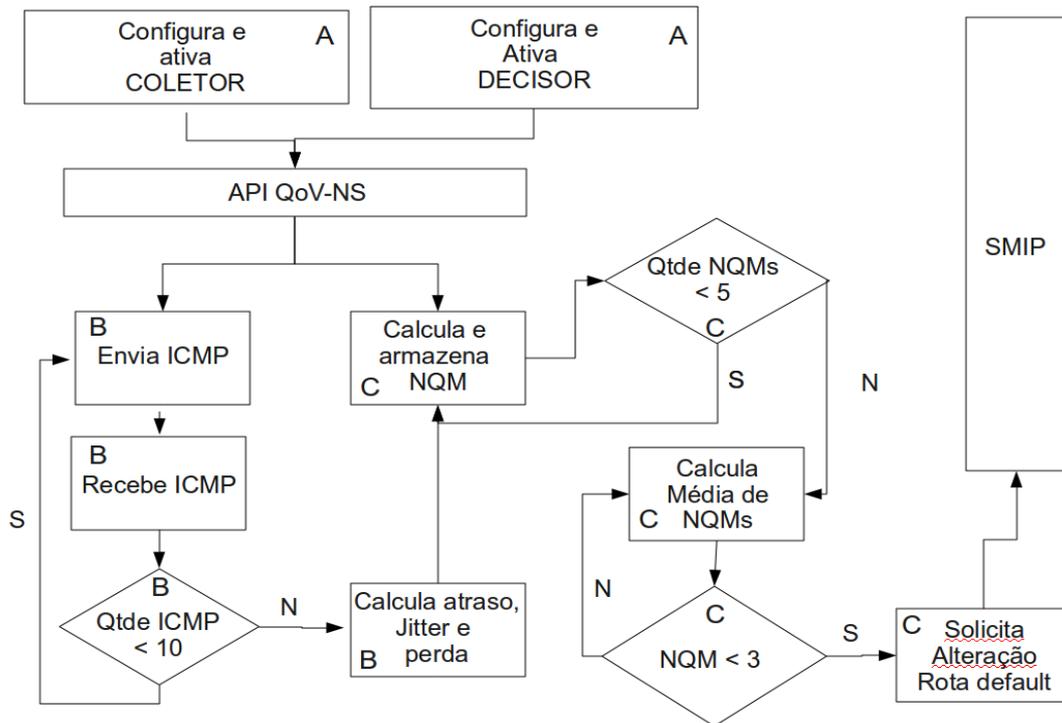


Figura 4.25: Fluxo de Operação do QoV-NS

4.5 Resultados da Avaliação da Proposta

Foram avaliadas a métrica proposta (NQM) e a arquitetura QoV-NS, ambas em um mesmo ambiente de testes, seguindo a mesma metodologia, ambas descritas em detalhes nas sub-seções seguintes.

4.5.1 Ambiente

Para realizar os experimentos, foi considerado um cenário com uma rede WLAN, e uma rede 3G de uma operadora brasileira. Além disso, o móvel foi considerado como um terminal multimodo, contendo as *interfaces* WLAN e 3G ativas e conectadas. Esse móvel está, sempre que possível, dentro da área de cobertura das duas redes, visto que as duas estão sempre sobrepostas. Toda a funcionalidade para coleta e cálculo da NQM foi implementada dentro do móvel.

Foram então, determinadas duas trajetórias para o móvel. Uma interna ao campus do IFTO e outra externa ao mesmo, indo desde a sua entrada de acesso até ao prédio da reitoria, conforme mostram as figuras 4.26, 4.27 e 4.28.

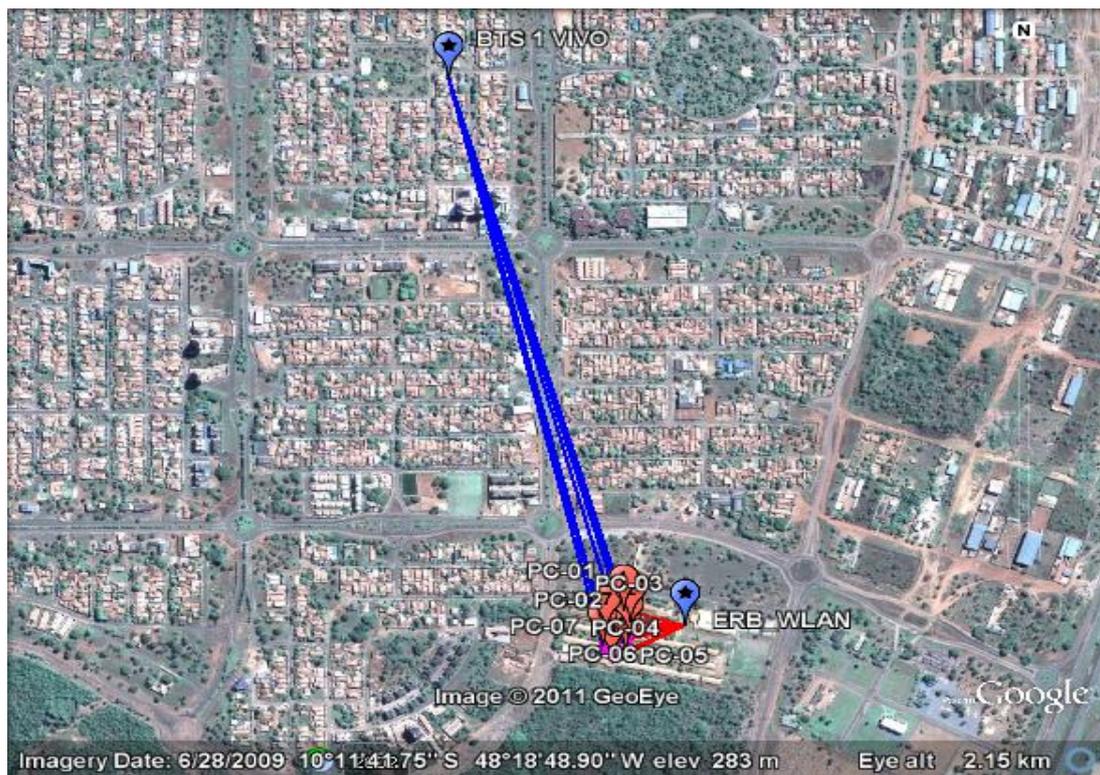


Figura 4.26: Trajetória interna definida para testes do QoV-NS (visão ampla)

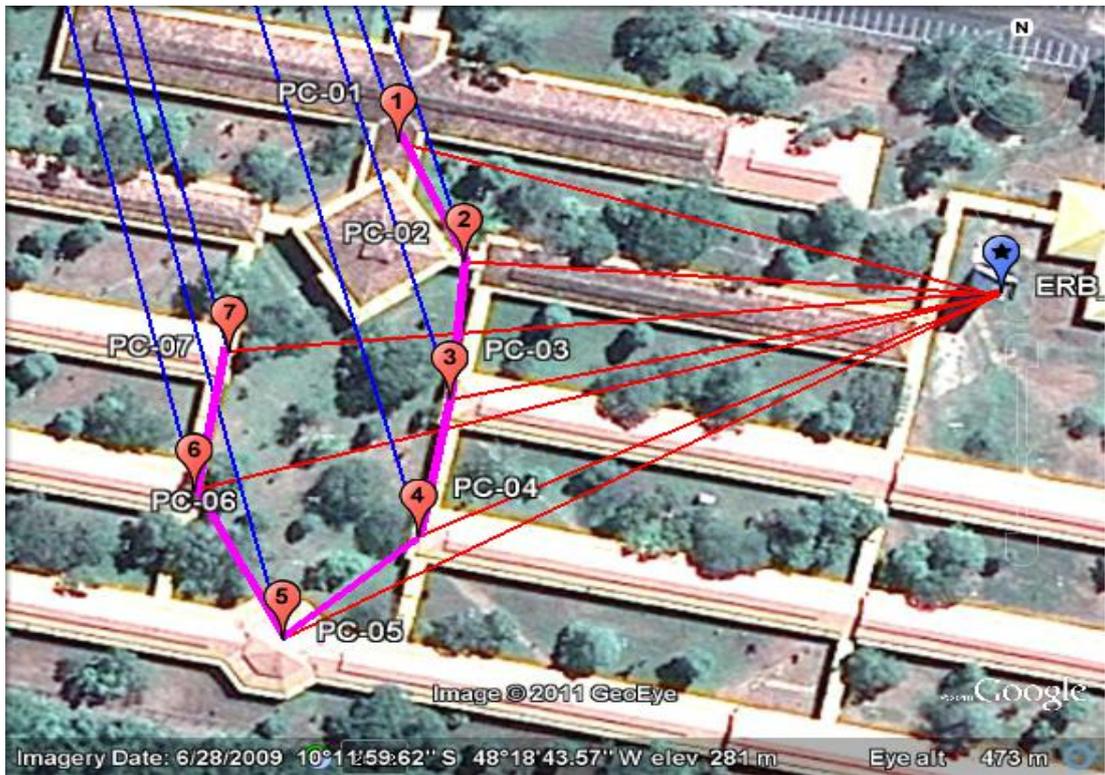


Figura 4.27: Trajetória interna definida para testes do QoV-NS (visão específica)

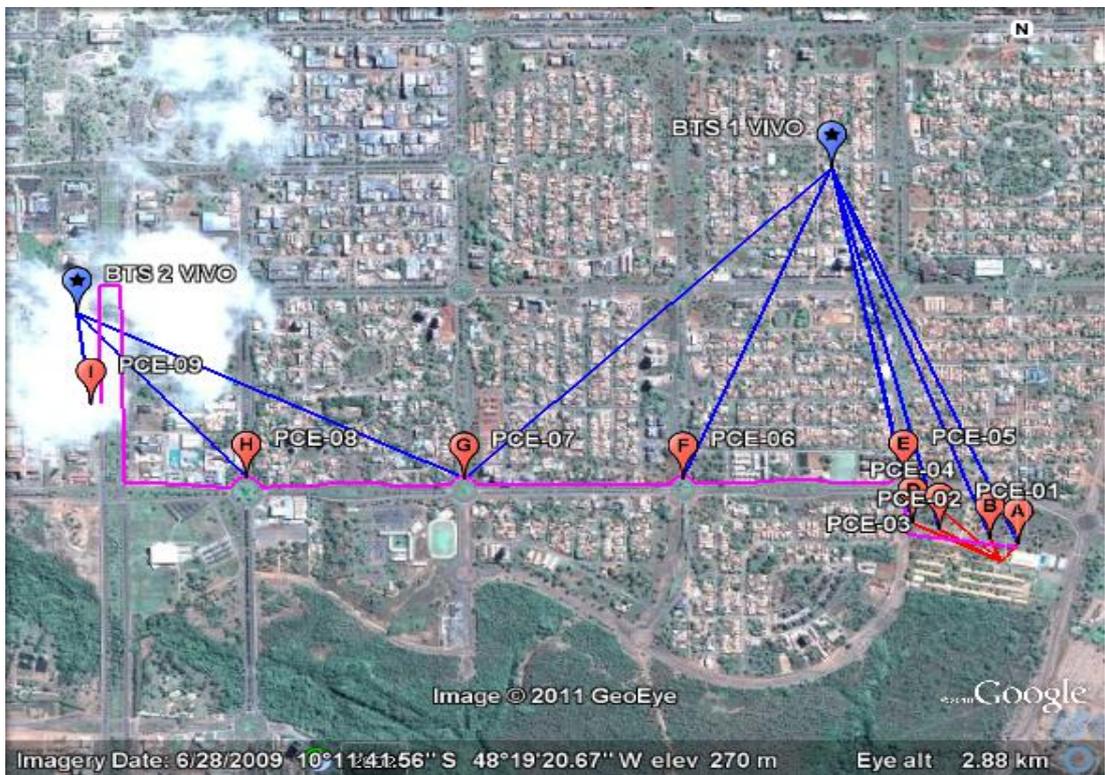


Figura 4.28: Trajetória externa definida para testes do QoV-NS

Tabela 4.18: Tabela com a posição geográfica de cada ponto usado nos testes

Ponto	Localização	Coordenadas
PC-01	Interno	10°11'57.74"S 48°18'44.60"W
PC-02	Interno	10°11'58.64"S 48°18'44.17"W
PC-03	Interno	10°11'59.68"S 48°18'44.26"W
PC-04	Interno	10°12'0.73"S 48°18'44.47"W
PC-05	Interno	10°12'1.50"S 48°18'45.37"W
PC-06	Interno	10°12'0.38"S 48°18'45.96"W
PC-07	Interno	10°11'59.33"S 48°18'45.72"W
PCE-01	Externo	10°11'57.06"S 48°18'39.17"W
PCE-02	Externo	10°11'56.49"S 48°18'41.69"W
PCE-03	Externo	10°11'55.58"S 48°18'46.20"W
PCE-04	Externo	10°11'54.90"S 48°18'48.59"W
PCE-05	Externo	10°11'50.12"S 48°18'49.42"W
PCE-06	Externo	10°11'50.34"S 48°19'9.20"W
PCE-07	Externo	10°11'50.39"S 48°19'28.89"W
PCE-08	Externo	10°11'50.28"S 48°19'48.61"W
PCE-09	Externo	10°11'42.70"S 48°20'2.76"W
AP	Interno	10°11'58.88"S 48°18'40.63"W
BTS 1	Externo	10°11'18.42"S 48°18'55.90"W
BTS 2	Externo	10°11'33.25"S 48°20'4.04"W

Em cada trajetória foram marcados pontos de coleta específicos, caracterizados por seu posicionamento em relação ao AP WLAN e à BTS 3G, conforme tabelas 4.19 e 4.20. As coordenadas geográficas de cada ponto são mostradas na tabela 4.18.

Durante a verificação da NQM nos pontos referentes ao trajeto interno, o móvel sempre teve a sua disposição a cobertura das WLAN e 3G, podendo então coletar os dados das duas redes e calcular a NQM para cada uma delas. Por outro lado, no trajeto externo, apenas nos pontos rotulados como PCE-01 a PCE-04, o móvel teve a cobertura das duas redes, ficando disponível apenas a cobertura 3G, do ponto PCE-05 até o PCE-09. Na figura 4.28, foi marcado o ponto PCE-07 como sendo o ponto onde o móvel deixa de ser atendido pela BTS 1, para ser atendido pela BTS 2, efetuando assim, um *handover* horizontal dentro da rede 3G da operadora, fato não percebido pela NQM, visto que o móvel não altera as informações de sua camada 3 (IP), durante essa migração.

Tabela 4.19: Tabela com as distâncias (em metros) entre AP/BTS e cada ponto de coleta interno

Ponto	Distância para BTS	Distância para AP
PC-01	1.257	125
PC-02	1.286	107
PC-03	1.314	113
PC-04	1.344	130
PC-05	1.364	165
PC-06	1.325	168
PC-07	1.295	156

Tabela 4.20: Tabela com as distâncias (em metros) entre AP/BTS e cada ponto de coleta externo

Ponto	Distância para BTS1	Distância para BTS2	Distância para AP
PCE-01	1.292		71.4
PCE-02	1.245		80.4
PCE-03	1.179		198
PCE-04	1.147		271
PCE-05	992		
PCE-06	1.061		
PCE-07	1.403	1.192	
PCE-08		702	
PCE-09		292	

4.5.2 Metodologia de Avaliação da NQM

Definidos os pontos, a coleta das variáveis de rede (atraso, jitter e perda) foi então realizada em cada um deles, visando o cálculo da NQM. Para isso, foi utilizado um servidor de vídeo instalado em 187.4.65.139, com o suporte VideoLan. Nesse servidor, foi inserida a sequência de vídeo conhecida como *Highway*, no formato QCIF, codificada em MPEG4, com GOP fixo de tamanho 12 e *bitrate* de 300Kbps. Foi usado, no móvel, um programa escrito em linguagem C, para coletar as variáveis de cada rede e calcular a NQM, antes de executar o *software* VLC (Video Lan Client) para solicitar os vídeos. Os resultados de outras sequências de vídeo também foram analisados, apresentando resultados bem semelhantes, o que levou à conclusão sobre a eficiência da NQM.

A partir daí, a análise das redes, usando a NQM e da qualidade do vídeo recebido usando a métrica PSNR começou a ser feita. Para cada ponto, 100 transmissões da sequência de vídeo foram realizadas, tendo sido computados os valores do PSNR ao final de cada transmissão, juntamente com a média das NQMs medidas. A mesma sequência de experimentação foi realizada para cada ponto de coleta (interno e externo), tendo sido o vídeo solicitado pelas duas *interfaces* do móvel, alternadamente, visando medir o seu PSNR e verificar então o comportamento do QoV-NS e com base na NQM.

4.5.3 Resultados da Avaliação da NQM

O resultado da avaliação da NQM mostra a sua acurácia em detectar as condições da rede para um determinado tipo de tráfego. No caso estudado, foi verificada a sua eficiência, visto que a escolha dos pesos que ponderam os termos de sua equação, foi feita considerando o nível de sinal, a perda, o jitter e o atraso, nessa ordem de prioridade, caracterizando o quanto uma rede está ou não apta à transmissão de tráfego sensível ao tempo.

Isso pode ser visto nas figuras de 4.29 a 4.40, onde os valores da NQM variaram de acordo com a distância do ponto para o AP e das características de cada uma das redes analisadas. Fica evidenciado que as soluções que se baseiam apenas no nível de sinal das redes, não são eficientes, visto que, como pode ser observado na análise das medidas coletadas nos pontos PC-01 (figura 4.29), embora o móvel estivesse próximo ao AP, portanto, com sinal forte, a qualidade da rede pode não apresentar condições ideais para um determinado tipo de tráfego. Nesse caso, os valores de NQM indicaram que a rede 3G estava em melhores condições para aceitar o tráfego de vídeo. Por outro lado, analisando os resultados do PC-02 (4.30), pode ser concluído que a rede WLAN possuía melhores condições, segundo a avaliação da NQM. O mesmo acontece com as demais análises feitas em cada um dos pontos internos.

É importante ressaltar que os valores da métrica PSNR, também medidos em todas as transmissões realizadas nos pontos de coleta, foram, na maioria das vezes, contraditórias mediante a real experiência de recepção dos vídeos, apresentando valores que indicavam uma boa qualidade, quando o vídeo havia sido recebido com pouca qualidade e vice-versa, mostrando, mais uma vez, a ineficiência dessa métrica como parâmetro de decisão de qualidade de vídeo.

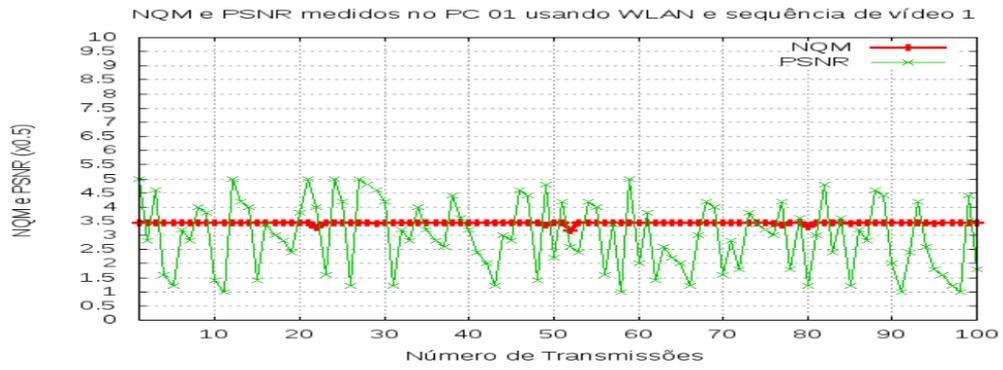
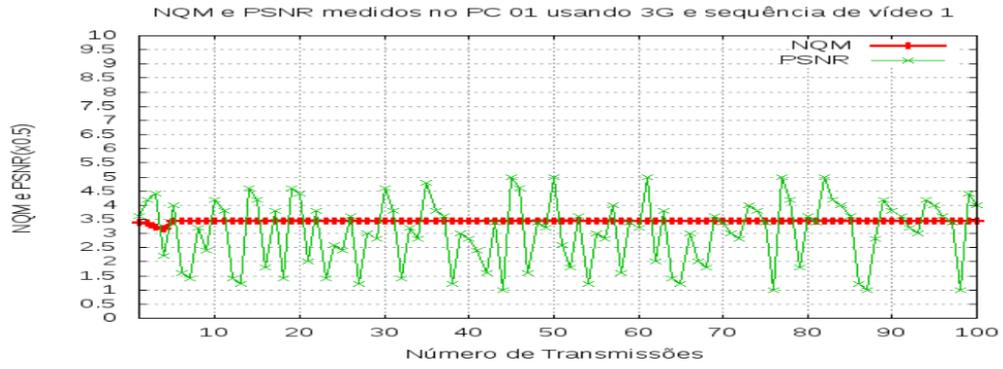


Figura 4.29: NQM x PSNR no PC-01

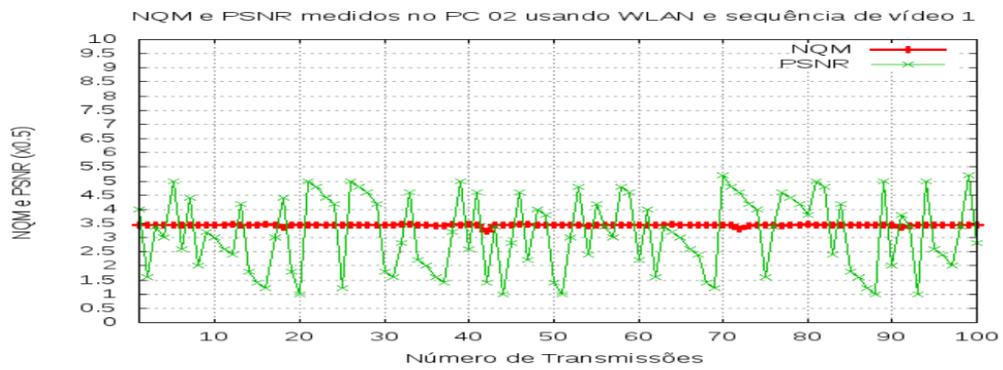
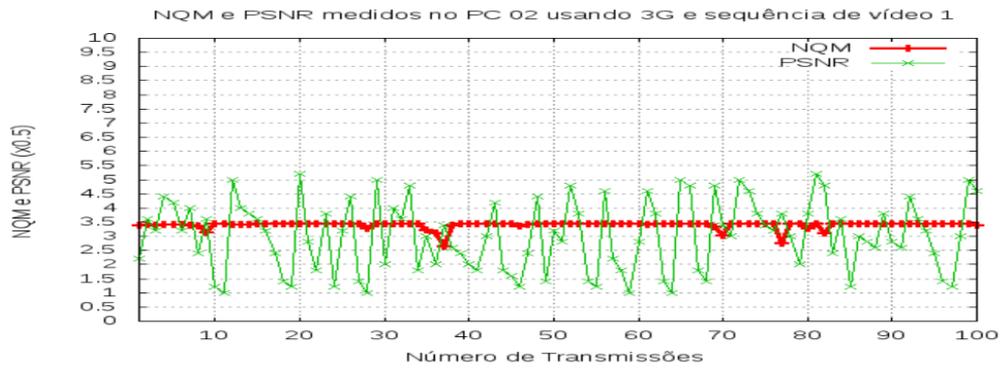


Figura 4.30: NQM x PSNR no PC-02

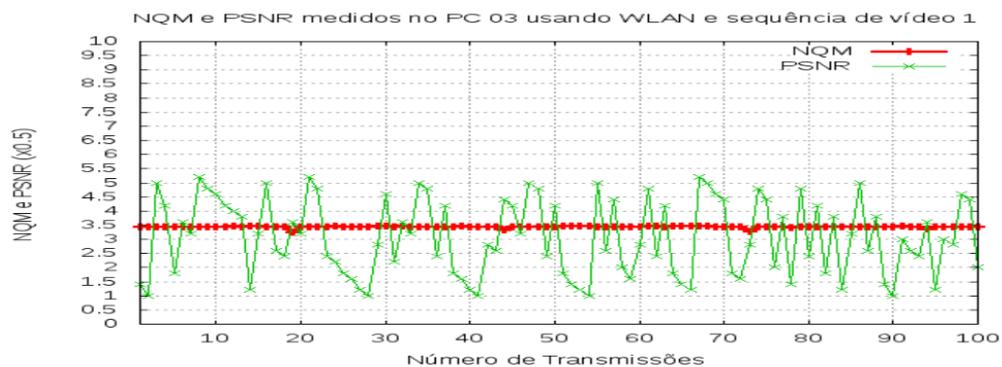
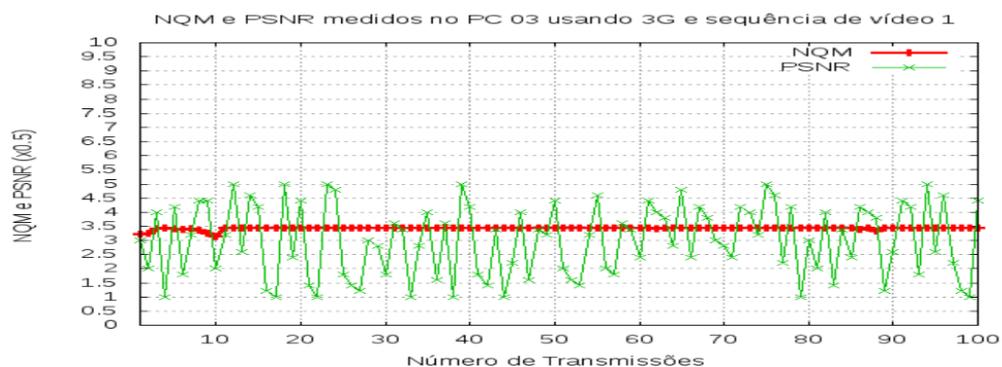


Figura 4.31: NQM x PSNR no PC-03

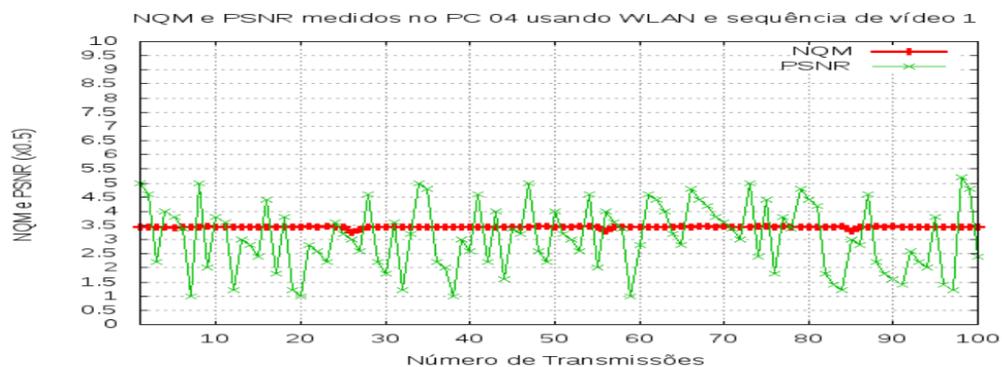
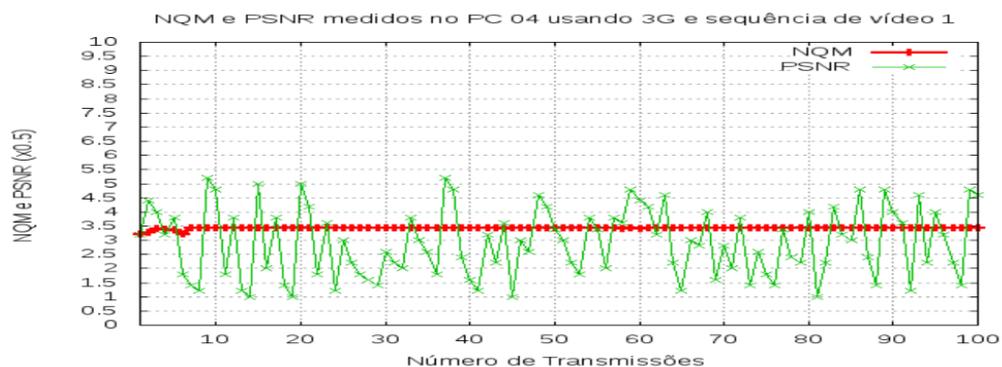


Figura 4.32: NQM x PSNR no PC-04

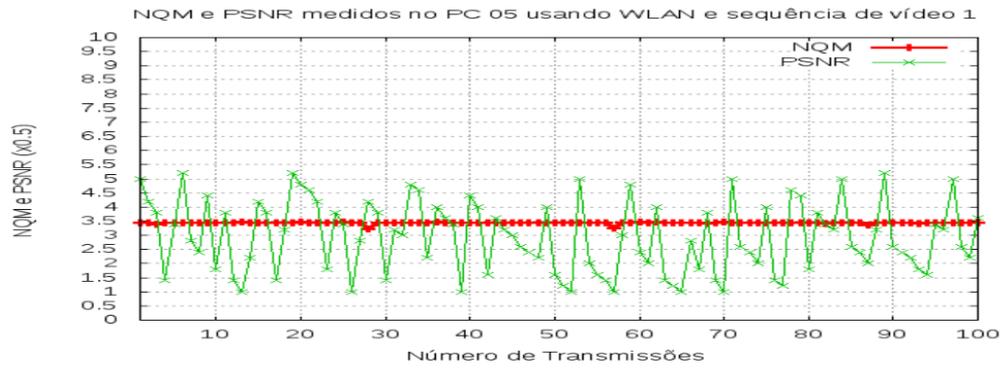
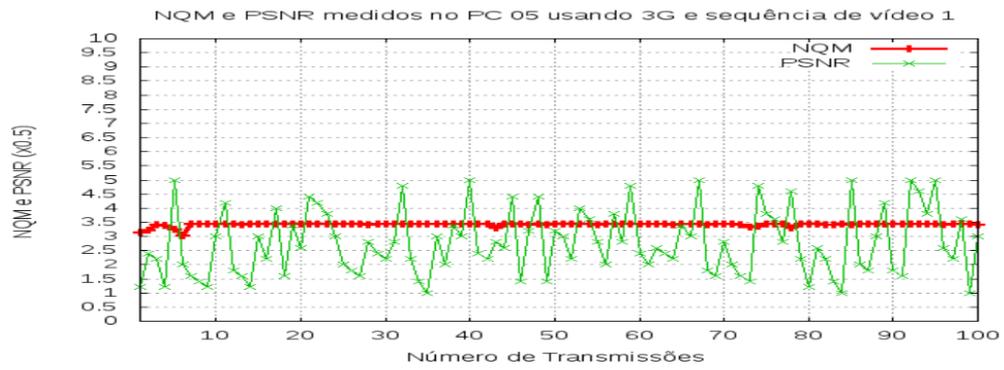


Figura 4.33: NQM x PSNR no PC-05

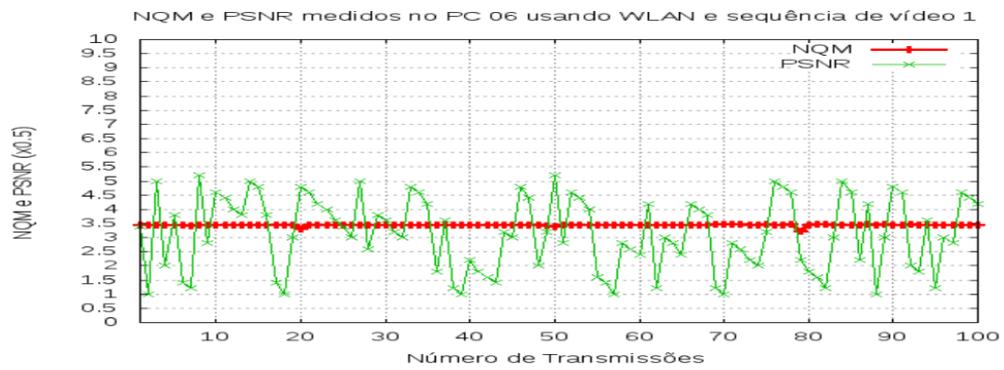
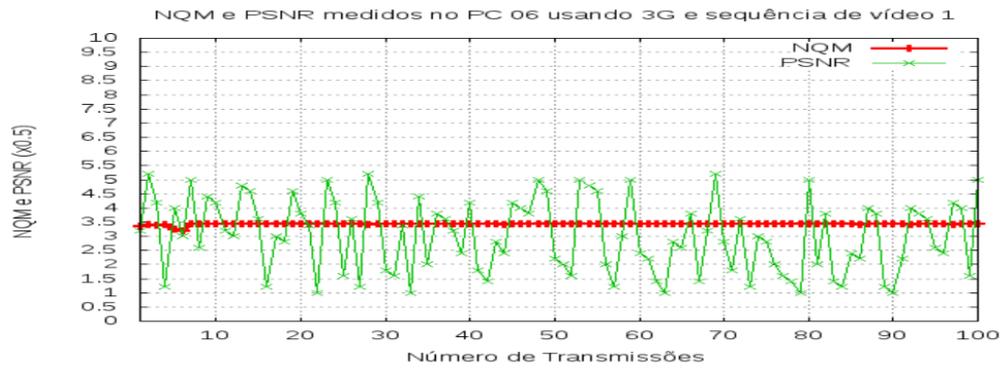


Figura 4.34: NQM x PSNR no PC-06

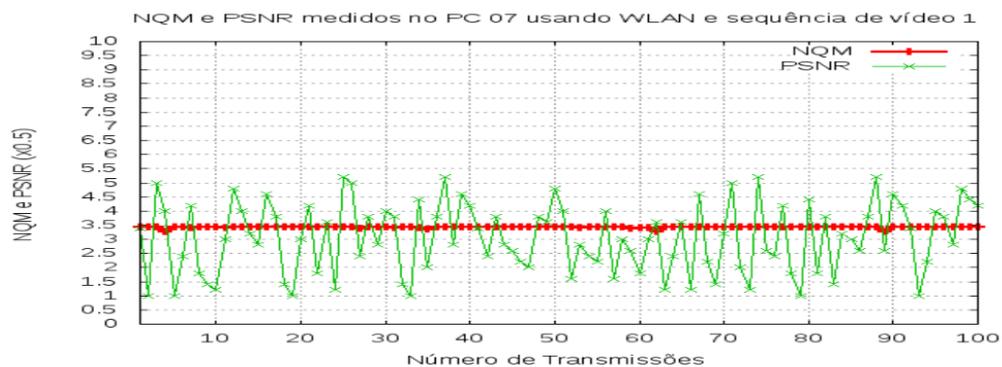
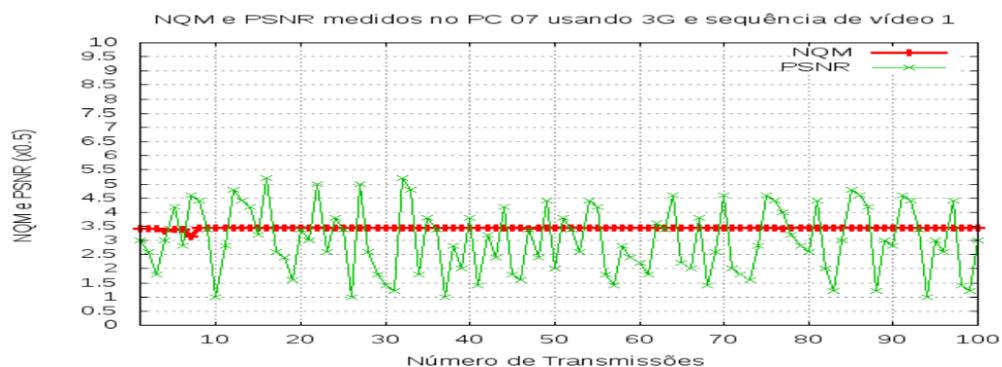


Figura 4.35: NQM x PSNR no PC-07

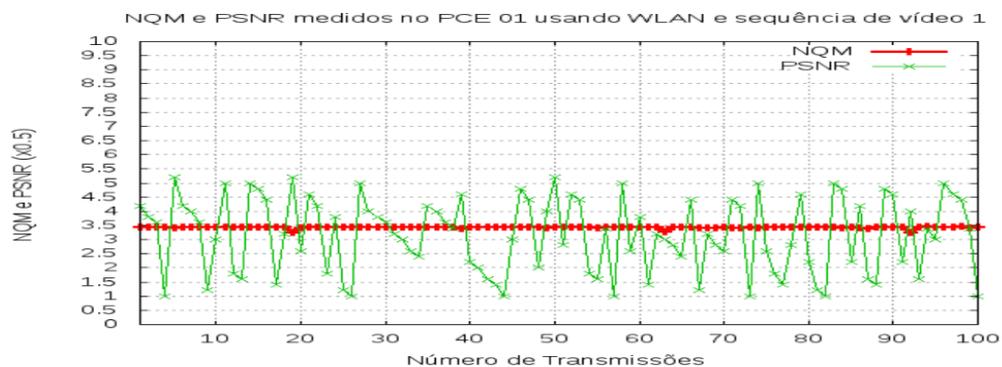
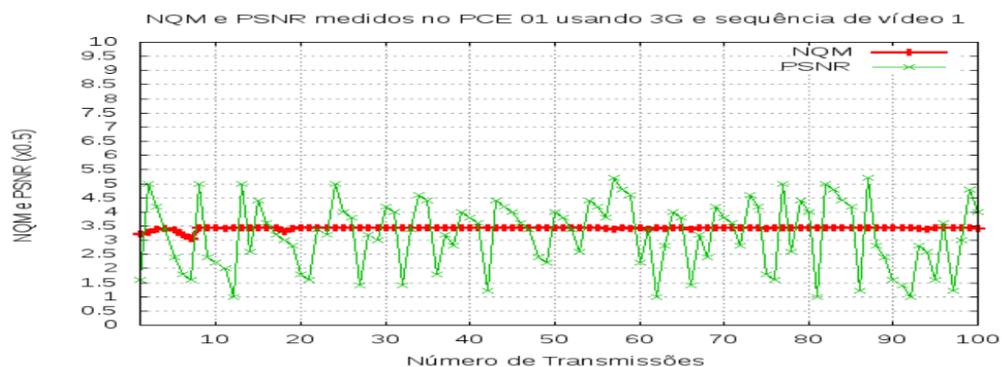


Figura 4.36: NQM x PSNR no PCE-01

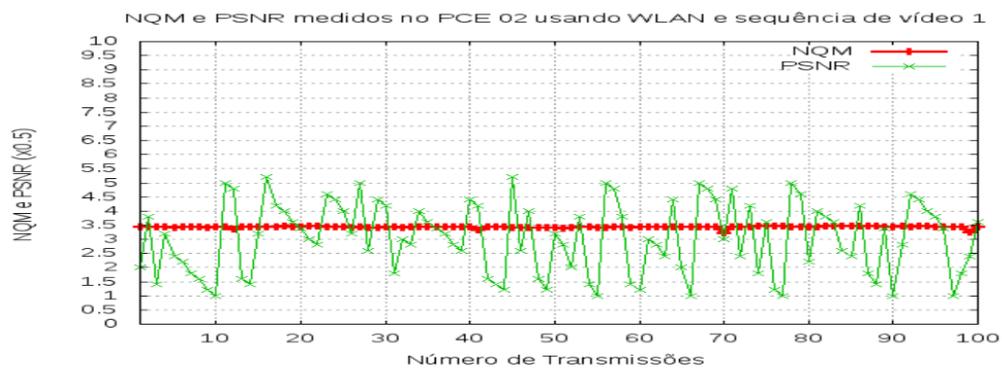
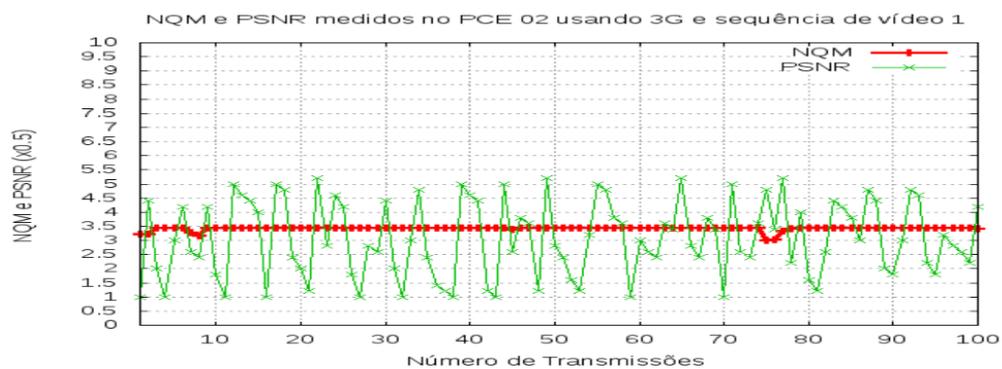


Figura 4.37: NQM x PSNR no PCE-02

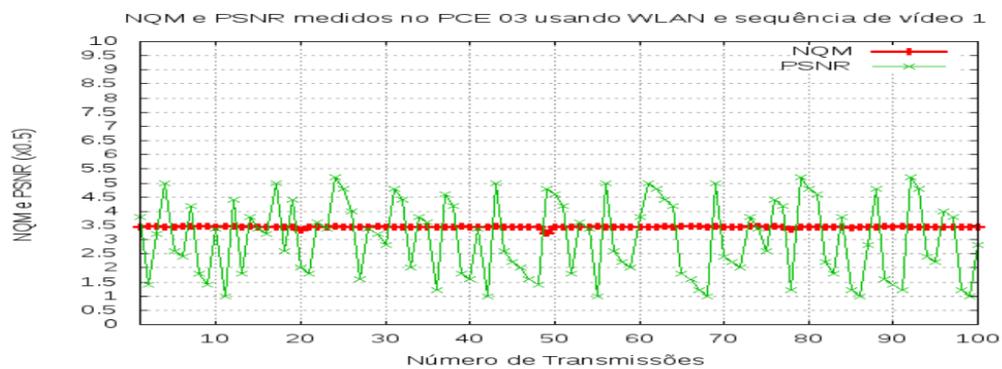
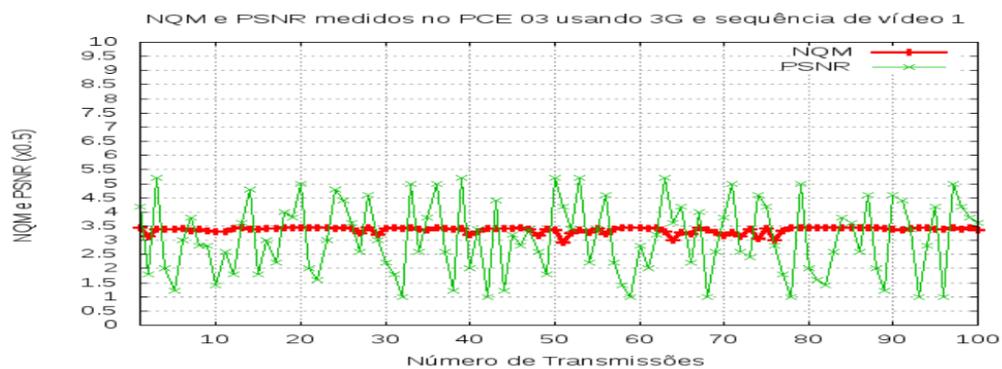


Figura 4.38: NQM x PSNR no PCE-03

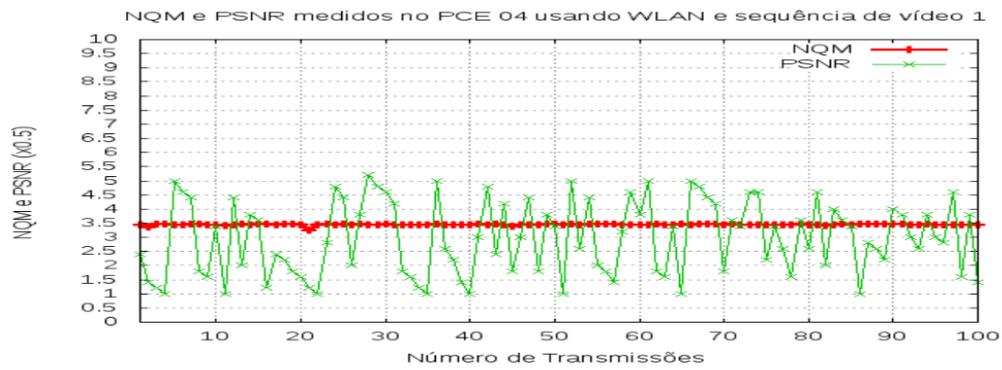
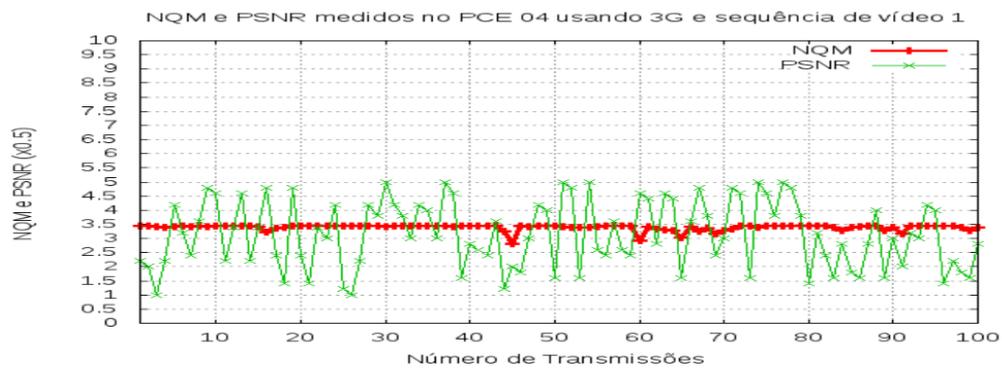


Figura 4.39: NQM x PSNR no PCE-04

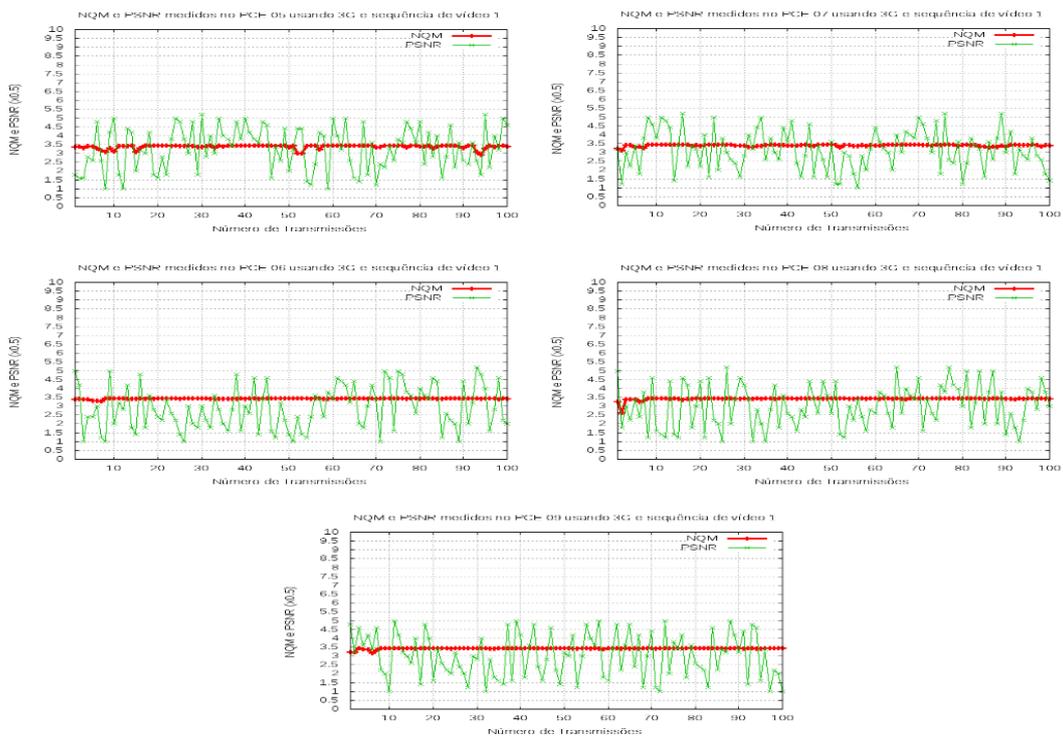


Figura 4.40: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

Para tentar verificar o comportamento da NQM mediante a transmissão de sequências de vídeo com características diferentes, o mesmo cenário foi considerado para a transmissão das seguintes sequências:

- Vídeo1 – > Highway;
- Vídeo2 – > Akyio;
- Vídeo3 – > Container;
- Vídeo4 – > Flower;
- Vídeo5 – > Paris;
- Vídeo6 – > Grandma;
- Vídeo7 – > Coastguard;
- Vídeo8 – > Bridge.

Os resultados apresentaram resultados semelhantes aos alcançados durante a transmissão da sequência *highway*, visto que a métrica não considera, em sua composição, artefatos de vídeo e sim parâmetros de rede. Estes resultados estão dispostos no apêndice 1 desta tese.

4.5.4 Metodologia de Avaliação do QoV-NS

Usando a mesma sequência de pontos de coleta usada para validar a NQM, foram repetidas novamente, para cada ponto, 100 transmissões da sequência de vídeo *highway*, iniciada, sempre que possível, pela WLAN. No móvel, além da implementação do QoV-NS, foi instalada a parte cliente do SMIP, visando verificar o comportamento integrado das duas soluções.

Foi considerado, também, que a rede *home* do usuário é a WLAN e em seu *gateway* foi instalada a parte servidora do SMIP. Dessa forma, foram verificados os momentos em que a arquitetura QoV-NS, usando a NQM, informa ao SMIP que deve executar a mudança de rede, acionando assim, seus mecanismos de manutenção de conexão.

É importante salientar que a arquitetura QoV-NS apenas reage quando há redes à disposição do móvel com valores de NQM igual ou superior a 3, permanecendo o móvel na sua rede atual, sempre que não houver outra opção. Dessa forma, nos pontos que compõe a trajetória externa do móvel, a partir do ponto PCE-05, há disponibilidade apenas da rede 3G, visto que a cobertura WLAN não é mais suficiente. Nesse caso, embora o QoV-NS continue trabalhando, medindo a NQM, nenhuma ação é comandada ao SMIP, informando a necessidade de migração.

4.5.5 Resultados da Avaliação do QoV-NS

Nas 1600 repetições do experimento, realizadas considerando os pontos de coleta internos e externos, o QoV-NS optou pela alteração da rede de forma apropriada. Em cada experimento, durante a recepção da sequência *highway*, o móvel modificou algumas vezes a rede, alternando entre WLAN e 3G e vice-versa, sempre quando o valor de NQM estava abaixo de 3, fato que torna a rede menos apta a receber sequências de vídeo com qualidade. Os resultados podem ser observados também nas figuras de 4.29 a 4.40, visto que foram utilizados os mesmos conjuntos de experimentos para validar, tanto a NQM quanto o QoV-NS. Nas vezes em que os valores de NQM da rede atual foram avaliados como insatisfatórios (menor que 3) e existia outra rede com NQM maior que três, o QoV-NS atuou, acionando o SMIP para providências de tunelamento e re-estabelecimento de rota.

Para exemplificar, as figura 4.41 e 4.42 apresentam os resultados das 100 coletas realizadas nos pontos PC-07 e PCE-04, visando mostrar a eficiência do QoV-NS em ambientes onde existam opções de rede com condições de garantir tráfego de tempo real. Nas figuras, é mostrado que, mesmo sendo a rede *home* do usuário a WLAN e apesar dele ter iniciado a chamada do vídeo nessa rede, uma vez detectado um valor de NQM menor que 3 e um outro, medido em outra rede (no caso 3G), com valor maior ou igual a 3, a arquitetura decide efetuar a troca de rede, informando sua decisão ao SMIP. Após a mudança, o móvel apenas retornará a sua rede *home* (WLAN), se ocorrer a condição inversa, ou seja, se a rede 3G alcançar NQM menor que 3 e a WLAN maior ou igual a 3. Caso contrário, o móvel permanece na rede 3G até o final da chamada, conforme pode ser visto na figura.

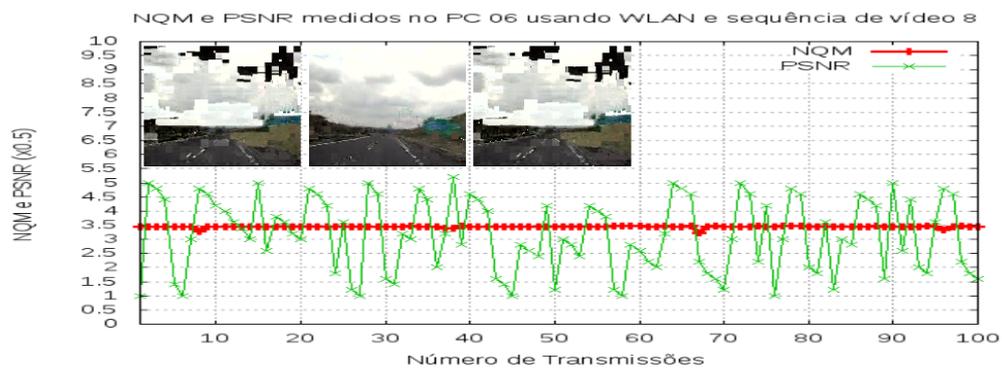
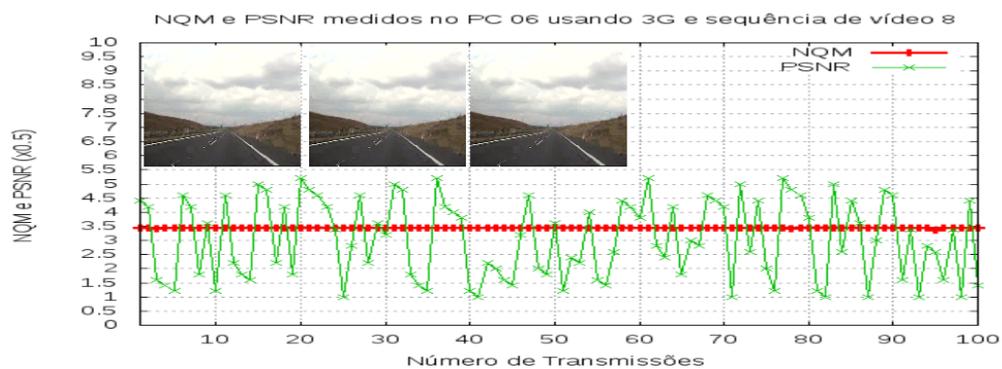


Figura 4.41: Resultado da Aplicação do QoV-NS

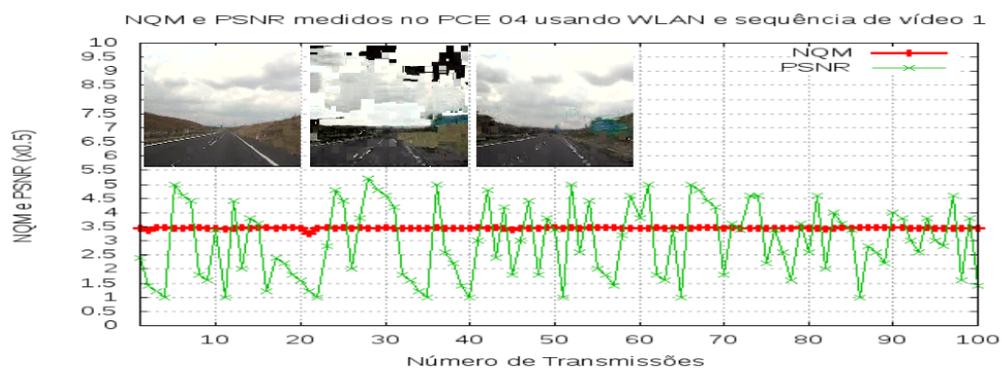
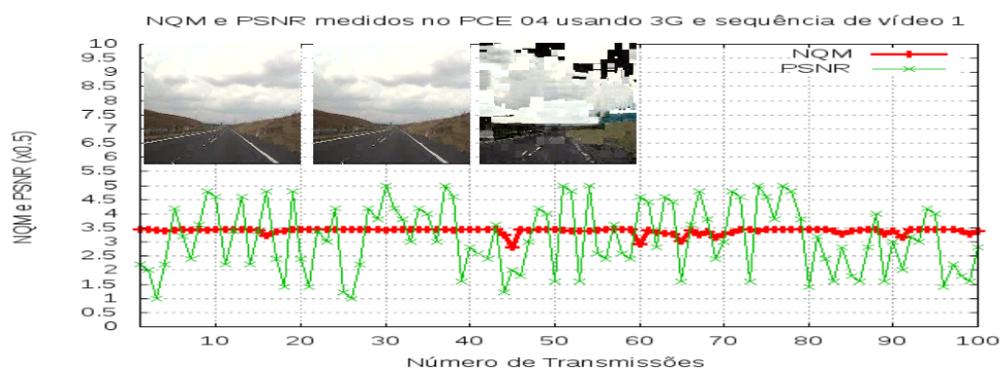


Figura 4.42: Resultado da Aplicação do QoV-NS

Durante todos os experimentos, sempre que o valor médio de NQM (considerando os 5 *rounds*

de coleta), resultava em valores menores que 3, o DECISOR solicitou a alteração da rota *default* do móvel para a outra rede, disparando os procedimentos do SMIP, levando o usuário a experimentar, sempre, uma boa qualidade de recepção de sua sequência de vídeo.

Vale salientar ainda, que os testes com o QoV-NS foram feitos em ambiente que considerou a existência de duas redes em produção, portanto, as características de tráfego de fundo de cada uma dessas redes não foram controladas. Dessa forma, as vezes em que o QoV-NS decidiu alterar sua rede de saída para a 3G, o móvel permaneceu usando essa rede até o final do vídeo transmitido, visto que a 3G se mostrou bem mais estável em relação aos parâmetros de rede, principalmente à perda de pacotes. Assim, visando forçar a atuação do QoV-NS, em alguns *rounds* dos experimentos, a rota foi alterada manualmente *default* do móvel, fazendo com que a sua rede padrão de saída voltasse a ser a WLAN, numa tentativa de possibilitar a observação sucessiva do trabalho do QoV-NS.

Ainda com a intenção de avaliar a eficiência da proposta, foi usado o mesmo ponto escolhido (PC-07) para verificar o comportamento da solução de seleção de rede, usando o mecanismo *WLAN-First*. Pode ser observado, analisando a figura 4.41, que o algoritmo *WLAN-First*, sempre escolhe a rede WLAN, desde que ela esteja disponível para o móvel, com nível de sinal suficiente para que os procedimentos de registro e autenticação sejam realizados e a conexão com o AP possa ser completada até a camada 3 [Deif et al.]. Desta forma, a proposta do *WLAN-First*, embora presente na grande maioria dos *smartphones* atuais, não é eficiente, visto que a mesma recomenda que o móvel continue em uma WLAN, ou pior, que migre de sua rede atual para a WLAN, sem levar em consideração as condições de tráfego que aquela rede oferece.

Para ilustrar este funcionamento, a figura 4.43 mostra os momentos onde a arquitetura QoV-NS comandou o handover da WLAN para a 3G (linha vermelha) e da 3G para a WLAN (linha azul), enquanto o algoritmo *WLAN-First* se mostrou pouco eficiente, devido considerar sempre, caso haja sinal suficiente, a WLAN como opção de rede. Desta forma, o fato do ponto PC-07 estar sob a cobertura das duas redes (WLAN e 3G), tal algoritmo não comanda trocas de rede, mesmo que a mesma apresente altos valores para as variáveis de QoS, impactando diretamente na qualidade de experiência experimentada pelos usuários.

Para tentar mostrar o comportamento dos esquemas em outra situação de localização, foi escolhido o ponto PCE-04, o mais distante do AP WLAN dentre os pontos definidos quer na trajetória interna, quer na externa. Os resultados não foram diferentes, visto que o QoV-NS identificou condições de NQM variadas e que atendiam aos requisitos da operação proposta para a arquitetura. Quanto ao *WLAN-First*, o comportamento foi o mesmo do que o encontrado na análise das coletas feitas com o ponto PC-07, conforme pode ser visto na figura 4.44, fato que reflete a falta de sensibilidade dessa solução às reais condições de tráfego da rede, reforçando assim, o melhor resultado alcançado pela arquitetura proposta.

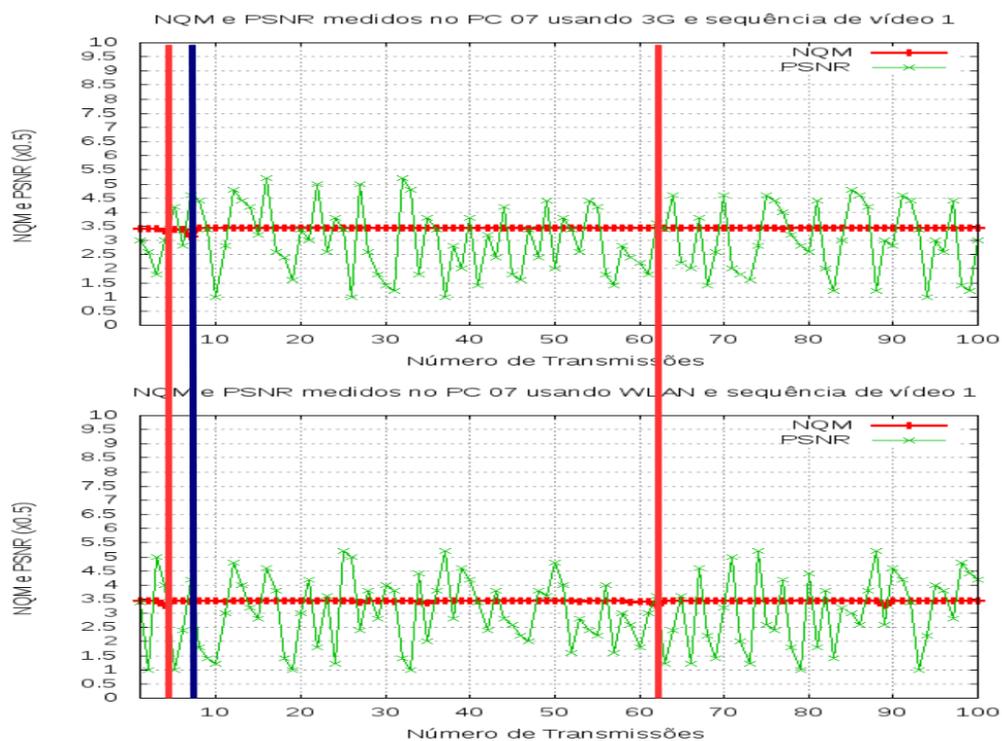


Figura 4.43: Trocas de rede sugeridas pelo QoV-NS no ponto PC-07

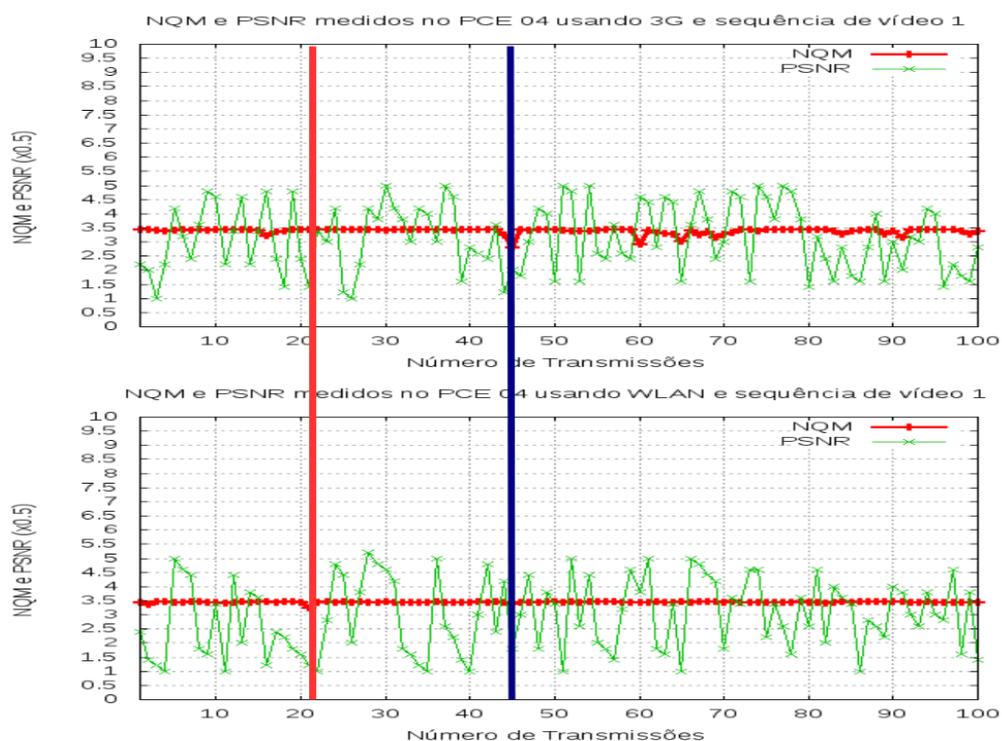


Figura 4.44: Trocas de rede sugeridas pelo QoV-NS no ponto PCE-04

O esquema de seleção de rede QoV-NS se mostrou eficiente em um cenário de redes hete-

rogêneas, visto que usou como parâmetro de sua função de custo, os valores das variáveis de rede medidas em tempo real em todas as redes disponíveis. Desta forma, usando as devidas ponderações, a proposta é capaz de identificar a rede mais apta a manter a conexão do usuário, seja esta conexão de vídeo, áudio ou apenas dados. Embora o nível de sinal seja uma variável a ser considerada na seleção de redes, ela não foi usada na métrica onde a arquitetura QoV-NS se baseia, mostrando que, em situações onde não há movimentação, essa variável pode ser dispensada. O mesmo não acontece em situações de movimentação real do móvel, que serão analisadas no próximo capítulo, durante a apresentação do AMAM (Ambiente de Mobilidade Assistida pelo Móvel).

4.6 Conclusão do Capítulo

Este trabalho apresenta resultados empíricos e analíticos sobre a composição de uma métrica de rede, capaz de prever a capacidade de uma rede para suportar um determinado tipo de tráfego. No início desta pesquisa, o que estava sendo procurado era uma métrica de QoV-NR, que pudesse ser usada de forma eficiente e prática, em uma arquitetura para selecionar uma rede dentro de um conjunto disponível. No entanto, após verificar algumas opções de métricas de QoV, desde o PSNR, até o AVQ, passando pelo MTBF, o trabalho acabou convergindo para o tratamento dessa métrica, considerando apenas variáveis de rede.

Para isso, um estudo empírico, baseado em um conjunto de ensaios repetidos, acabou por demonstrar que é possível diagnosticar a aptidão de uma rede para a transmissão de um determinado tipo de tráfego, fazendo com que fosse proposta e usada a métrica NQM na arquitetura do QoV-NS, numa tentativa de antever o momento do *handover* do móvel, atuando de forma pró-ativa e não apenas reativa, como os algoritmos de NS vêm fazendo em dispositivos móveis recentes.

Desta forma, foi alcançado um resultado consistente nos experimentos práticos realizados, mostrando que a solução apresentada é eficiente e de fácil aplicação em ambientes reais, devido a sua independência de operadoras e infra-estrutura de redes.

Como continuação deste trabalho, algumas técnicas de otimização como algoritmos genéticos, lógica fuzzy e redes neurais podem ser aplicadas para encontrar os fatores de ponderação para cada fator envolvido na equação da NQM, numa tentativa de poder usar fatores mais precisos e que possam melhor representar o impacto de determinada variável de rede na predição de aptidão de uma rede para um dado tipo de tráfego.

Além disso, mesmo sabendo da possibilidade de aplicação do QoV-NS como gatilho para a escolha da melhor rede disponível, independente do tipo de rede envolvida, testes com outras redes como WIMAX, bluetooth, zigbee, etc, ainda são necessários para aferir o nível de eficiência da solução proposta.

Capítulo 5

Ambiente de Mobilidade Assistida pelo Móvel - AMAM

5.1 Introdução

Como visto até agora neste trabalho, as soluções para garantir, a usuários, uma experiência de mobilidade global, permitindo a ubiquidade no acesso aos seus dados, vêm sendo propostas a todo dia. No entanto, essas soluções, muitas vezes, ficam confinadas a resolver um problema específico dentro do desafio da mobilidade. Como já citado em capítulos anteriores, há questões muito bem resolvidas, envolvendo características de cada camada, no entanto, para que uma solução realmente funcione, ela precisa resolver mais do que um problema envolvido no processo de mobilidade. Por esta razão, foram propostas, neste trabalho, soluções para resolver dois importantes problemas no contexto da mobilidade: o problema da gerência de mobilidade IP e o problema da seleção de redes.

Estas propostas resultaram no SMIP e no QoV-NS e, como já comentado, elas não conseguem alcançar um bom desempenho sem estarem integradas, visto que, para que os procedimentos de mobilidade IP tenham efetividade no sentido de reduzir a latência do *handover*, é necessário que exista um procedimento responsável por acioná-lo e, de preferência, de forma preventiva. Esse procedimento, normalmente conhecido como seleção de rede, é apresentado neste trabalho como QoV-NS. Da mesma forma, não há efetividade em uma solução de seleção de rede, se a mesma não contar com o suporte dos procedimentos de gerência de mobilidade na camada 3, neste trabalho, apresentado como SMIP.

5.2 Arquitetura AMAM

Visando então demonstrar a eficiência das duas soluções apresentadas neste trabalho (SMIP e QoV-NS), em situações reais de mobilidade, elas foram integradas em um ambiente, denominado AMAM (Ambiente de Mobilidade Assistida pelo Móvel). Este ambiente oferece ferramentas na

camada de rede com a disponibilização de uma API, com vistas a possibilitar o uso do mesmo por diferentes tipos de aplicações e de tráfego. A arquitetura do AMAM pode ser resumida analisando a figura 5.1.

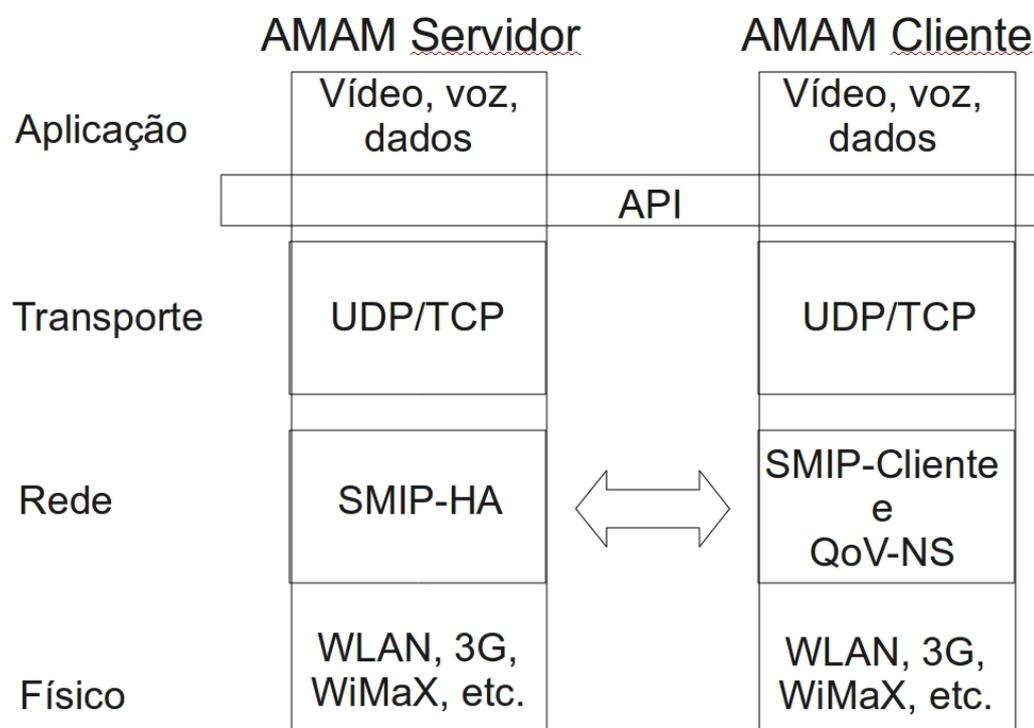


Figura 5.1: Arquitetura AMAM

O AMAM é bastante simples e é baseado em uma arquitetura cliente-servidor. O lado servidor é composto pelo SMIP-HA (o *home-agent* da solução SMIP), que deve funcionar sempre no *gateway* de saída para *Internet* da rede *home* do usuário. O lado cliente do ambiente é composto pela parte cliente do SMIP, responsável por iniciar toda a sinalização com o HA e da arquitetura do QoSV-NS.

Assim, a parte cliente do ambiente apresenta o trabalho efetivo, resultado da integração entre as duas soluções propostas nesta tese. Nele, são realizados todos os procedimentos de identificação de redes ativas, seleção da melhor rede e sinalização SMIP com o HA, visando a atualização de localização IP e re-roteamento de datagramas.

Efetivamente, o lado servidor do ambiente atua na camada de rede, oferecendo uma API para a camada de aplicação, visando sua inicialização parametrizada, podendo assim, existir várias instâncias do servidor SMIP-HA executando no mesmo *gateway* de rede.

Embora os procedimentos executados pelo lado cliente do ambiente sejam todos automatizados, as APIs definidas para o SMIP e para o QoSV-NS oferecem maior flexibilidade ao usuário, visto que permitem ao mesmo, a parametrização de cada um dos serviços. Mesmo ciente de que,

no caso de nenhum parâmetro fornecido, a parte cliente do AMAM assume valores *default*, sendo alguns deles ajustados para identificação automática, é possível que o usuário e suas aplicações configurem variáveis que definem:

- Os nomes das *interfaces* a serem consideradas;
- IPs para a coleta;
- O endereço IP do *gateway*;
- A quantidade de *rounds* usados nas coletas do QoV-NS;
- A quantidade de requisições ICMP usadas em cada *round*;
- Os valores dos pesos dados a cada uma das variáveis de rede para a composição da NQM;
- Arquivo de *log* a ser gerado.

5.2.1 Funcionamento

O funcionamento do AMAM é caracterizado pela integração do funcionamento do SMIP e do QoV-NS, sendo este último o responsável pela identificação do momento em que a migração entre uma rede e outra deve acontecer. Sendo assim, o fluxo de funcionamento do AMAM pode ser entendido analisando a figura 5.2.

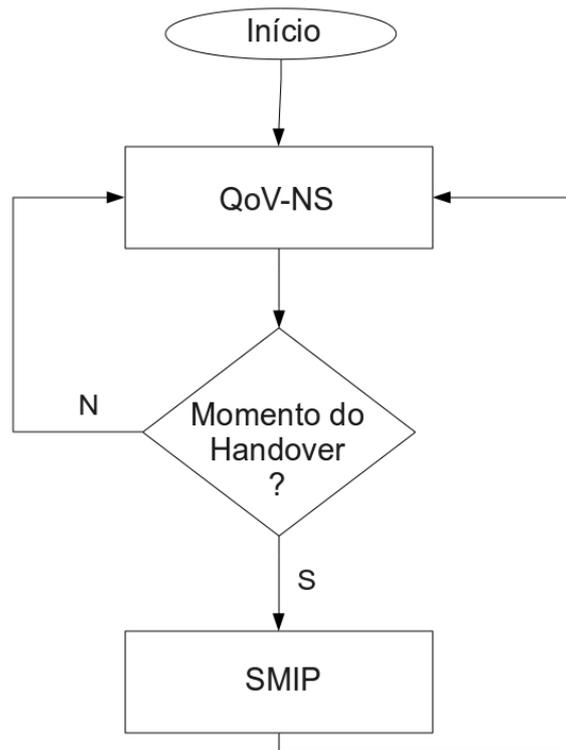


Figura 5.2: Funcionamento AMAM

Pode ser observado que a estrutura do funcionamento é simples e eficaz. Primeiro, a estrutura SMIP do lado servidor precisa estar ativa e pronta para receber as requisições SMIP do cliente. Depois disso, toda a operação acontece no móvel. O AMAM é iniciado com a execução do QoV-NS, que então realiza seus procedimentos. Assim que o QoV-NS encontrar o momento do *handover* ele, então, aciona o SMIP cliente, que inicia o processo de sinalização com o SMIP-HA, visando concluir o *handover*, entregando os datagramas para o móvel, estando ele em sua nova localização.

5.3 Teste e Resultados

Embora a integração das soluções SMIP e QoV-NS tenham sido testadas de forma integrada durante os testes apresentados no capítulo 4 desta tese, foi considerada necessária a validação dessas soluções em ambientes com mobilidade real, sendo essa, a finalidade do AMAM.

5.3.1 Ambiente

Para a realização dos testes, dois ambientes foram contruídos, baseados em pontos que definem duas trajetórias específicas, definidas nas figuras 5.3 e 5.4.

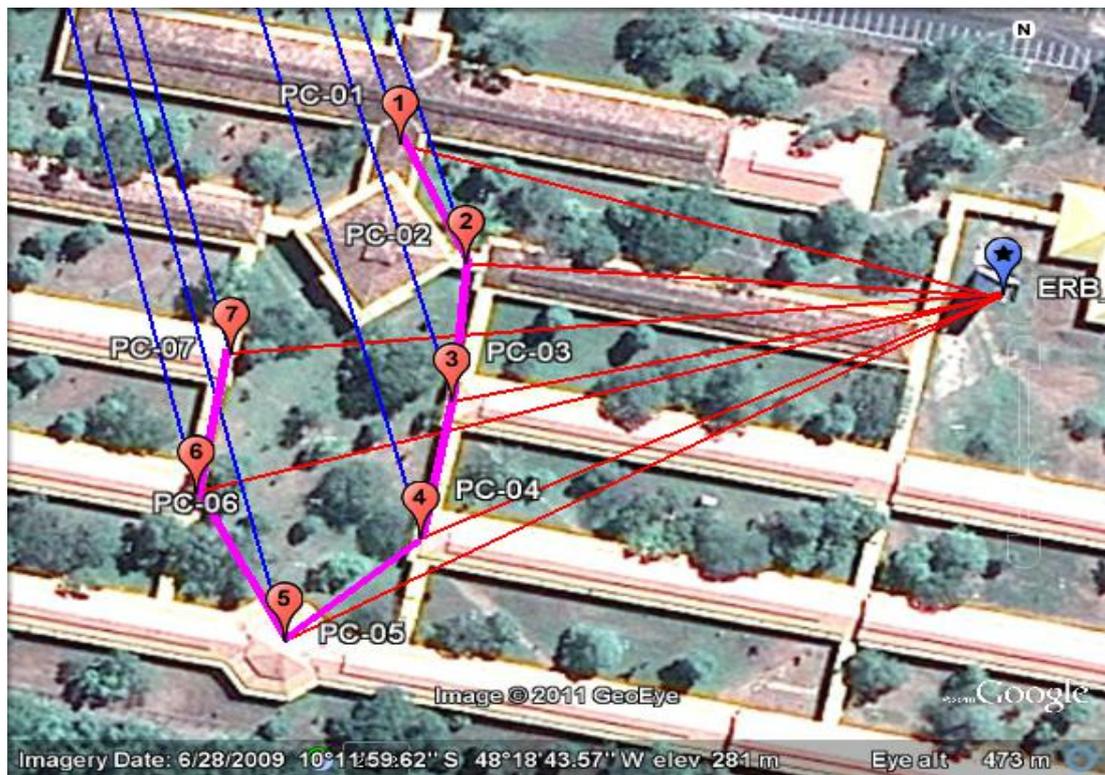


Figura 5.3: Trajetória 1 definida para testes do AMAM (Em rosa)

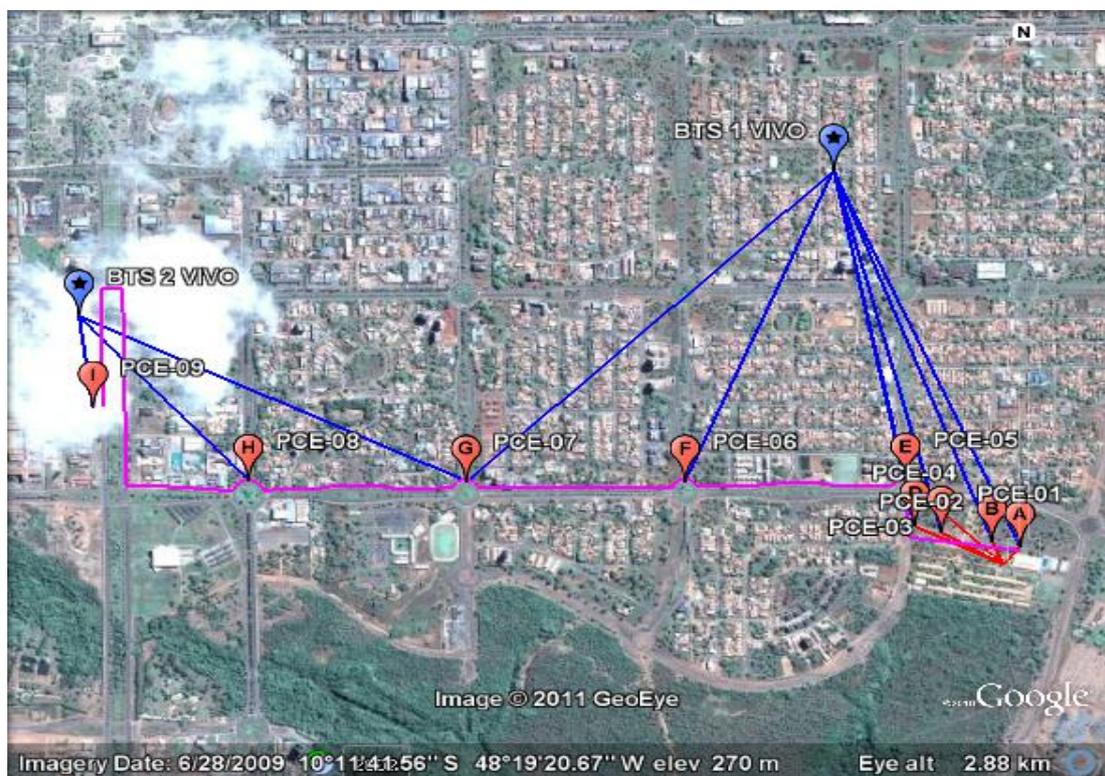


Figura 5.4: Trajetória 2 definida para testes do AMAM (Em rosa)

Cada trajetória tem características específicas, que vão desde a posição dos pontos em relação

Tabela 5.1: Tabela com a posição geográfica de cada ponto usado nos testes

Ponto	Localização	Coordenadas
PC-01	Interno	10°11'57.74"S 48°18'44.60"W
PC-02	Interno	10°11'58.64"S 48°18'44.17"W
PC-03	Interno	10°11'59.68"S 48°18'44.26"W
PC-04	Interno	10°12'0.73"S 48°18'44.47"W
PC-05	Interno	10°12'1.50"S 48°18'45.37"W
PC-06	Interno	10°12'0.38"S 48°18'45.96"W
PC-07	Interno	10°11'59.33"S 48°18'45.72"W
PCE-01	Externo	10°11'57.06"S 48°18'39.17"W
PCE-02	Externo	10°11'56.49"S 48°18'41.69"W
PCE-03	Externo	10°11'55.58"S 48°18'46.20"W
PCE-04	Externo	10°11'54.90"S 48°18'48.59"W
PCE-05	Externo	10°11'50.12"S 48°18'49.42"W
PCE-06	Externo	10°11'50.34"S 48°19'9.20"W
PCE-07	Externo	10°11'50.39"S 48°19'28.89"W
PCE-08	Externo	10°11'50.28"S 48°19'48.61"W
PCE-09	Externo	10°11'42.70"S 48°20'2.76"W
AP	Interno	10°11'58.88"S 48°18'40.63"W
BTS 1	Externo	10°11'18.42"S 48°18'55.90"W
BTS 2	Externo	10°11'33.25"S 48°20'4.04"W

à BTS e ao AP, até a disponibilidade ou não da cobertura sobreposta das duas redes, conforme pode ser observado nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3.

Como pode ser observado, a primeira trajetória, construída internamente ao campus do IFTO, em Palmas, conta com 7 pontos, todos eles com cobertura sobreposta das redes WLAN e 3G, enquanto que a segunda, construída externamente ao campus, num trajeto que vai do campus Palmas até a Reitoria do referido Instituto, conta com 9 pontos, onde os 4 primeiros apresentam cobertura sobreposta das duas redes e os 5 seguintes contam apenas com a cobertura da rede 3G.

Embora as soluções propostas nesta tese e que compõem a base do AMAM, tenham considerado como premissa para a otimização do *handover*, a existência de redes sobrepostas, a trajetória 2 foi escolhida, visando verificar o comportamento dessas soluções em cenários onde essa premissa varia, podendo, em alguns momentos, existir a sobreposição das redes e, em outros, não.

Sendo assim, no *gateway* da WLAN disponibilizada no IFTO, foi instalada a parte servidora do AMAM, que consiste da implementação do SMIP-HA, visando tornar possível a experimentação. Por outro lado, no móvel usado nos testes, as *interfaces* físicas WLAN e 3G estavam disponíveis, sendo possível, então, a instalação da parte cliente do AMAM, que consiste do cliente-SMIP e do

Tabela 5.2: Tabela com as distâncias (em metros) do entre AP/BTS e cada ponto de coleta interno

Ponto	Distância para BTS	Distância para AP
PC-01	1.257	125
PC-02	1.286	107
PC-03	1.314	113
PC-04	1.344	130
PC-05	1.364	165
PC-06	1.325	168
PC-07	1.295	156

Tabela 5.3: Tabela com as distâncias (em metros) o entre AP/BTS e cada ponto de coleta externo

Ponto	Distância para BTS1	Distância para BTS2	Distância para AP
PCE-01	1.292		71.4
PCE-02	1.245		80.4
PCE-03	1.179		198
PCE-04	1.147		271
PCE-05	992		
PCE-06	1.061		
PCE-07	1.403	1.192	
PCE-08		702	
PCE-09		292	

QoV-NS.

5.3.2 Metodologia

Considerando o ambiente disponível, foram formulados alguns conjuntos de experimentos, categorizados pela velocidade de deslocamento do móvel. Assim, 4 classes foram adotadas, a saber:

- Classe 1: Móvel com velocidade de até 1km/hora;
- Classe 2: Móvel com velocidade acima de 1km/hora até 15km/hora;
- Classe 3: Móvel com velocidade acima de 15km/hora até 40km/hora;
- Classe 4: Móvel com velocidade acima de 40km/hora.

A classe 1 foi utilizada para os testes feitos usando a trajetória 1, visto que a mesma é composta de pontos localizados dentro do campus e que o deslocamento do móvel apenas pode ser feito com o usuário caminhando. Por outro lado, as demais classes (2, 3 e 4) foram usadas para testes com a trajetória 2, considerando a possibilidade do uso de veículos com controle de velocidade, neste trajeto.

Sendo assim, os testes foram feitos usando os seguintes ensaios, cada um com 100 repetições:

1. Ensaio 1: Recepção de sequência de vídeo durante 40 minutos com móvel se deslocando pela trajetória 1 com velocidade determinada pela classe 1;
2. Ensaio 2: Recepção de sequência de vídeo durante 40 minutos com móvel se deslocando pela trajetória 2 com velocidade determinada pela classe 2;
3. Ensaio 3: Recepção de sequência de vídeo durante 40 minutos com móvel se deslocando pela trajetória 2 com velocidade determinada pela classe 3;
4. Ensaio 4: Recepção de sequência de vídeo durante 40 minutos com móvel se deslocando pela trajetória 2 com velocidade determinada pela classe 4.

A sequência de vídeo utilizada foi a bem conhecida *highway*, encapsulada em MPEG4, no formato QCIF e *bitrate* taxa de bits de 300Kbps. Devido essa sequência ter duração aproximada de 2 minutos, 20 repetições dela foram concatenadas em um mesmo arquivo MPEG4, totalizando aproximadamente 40 minutos de vídeo, na tentativa de possibilitar ao usuário, a experiência de transitar entre as redes, mantendo a sua conexão de vídeo ativa.

No cliente, o AMAM foi iniciado com os seguintes valores para a execução.

- Para o QoV-NS:

1. Os nomes das *interfaces* a serem consideradas: ra0 (WLAN) e ppp0 (3G);
2. IPs para a coleta: 200.199.231.65 200.199.231.92;
3. O endereço IP do *gateway*: 200.129.176.53;
4. A quantidade de *rounds* usados nas coletas do QoV-NS: 1;
5. A quantidade de requisições ICMP usadas em cada *round*: 10;
6. Os valores dos pesos dados a cada uma das variáveis de rede para a composição da NQM: 0.4 0.1 0.5;
7. Arquivo de *log* a ser gerado: qovns.

- Para o SMIP:

1. Endereço IP do HA: 200.129.176.53;
2. Endereço IP do *gateway*: 200.129.176.53;
3. Porta de serviço: 5555.

No *gateway* da WLAN, a parte servidora do SMIP, foi iniciada com:

1. Endereço IP do *gateway* local: 200.129.176.53;
2. Porta de serviço: 5555;
3. Endereço IP ponta A túnel: 20.20.20.1;
4. Endereço IP ponta B túnel: 20.20.20.2;
5. Porta do túnel: 6666;
6. Arquivo de configuração do túnel: tunel1.conf.

No móvel, três arquivos são gerados com as seguintes funções:

- Arquivo 1: gerado por cada repetição de ensaio, contendo informações coletadas pelo QoV-NS em relação aos valores de atraso, *jitter* e perda de pacotes em cada rede, além do valor da NQM medida;
- Arquivo 2: gerado pelo QoV-NS para os testes. Registra o acionamento do SMIP para iniciar o *handover*;
- Arquivo 3: Registra o momento em que a conexão do móvel foi alterada para a nova rede e o momento em que ela foi re-estabelecida, considerando sua nova localização IP.

Isso permitiu que fossem verificadas duas variáveis:

- A decisão do QoV-NS de executar o *handover* baseado na NQM;
- O tempo percorrido entre o início e o fim do **handover**, caracterizado pelo reestabelecimento da conexão ativa do móvel.

Vale salientar que todos os testes realizados, consideraram que a requisição de conexão de serviço feita pelo usuário foi iniciada enquanto ele estava em sua rede *home*. Após essa solicitação feita, o usuário, então, iniciava sua movimentação. Além disso, todos os testes consideraram requisições feitas a um serviço de vídeo sob demanda, disponibilizado no Laboratório de Televisão Digital Interativa da Universidade de Brasília, no servidor identificado pelo IP 164.4.67.64. A sequência de vídeo usada nos testes foi, a exemplo dos demais experimentos feitos durante essa pesquisa, a *highway*, repetida 20 vezes e encapsulada em um único arquivo, visando disponibilizar aos usuários uma sequência de 40 minutos de vídeo em cada requisição, criando uma condição de tempo ideal para que o mesmo pudesse se movimentar entre as redes antes da sequência terminar, experimentando, assim, a continuidade de conexão.

5.3.3 Resultados

Os resultados obtidos com os experimentos feitos com o AMAM, foram divididos em duas categorias:

- A primeira, visa mostrar, basicamente, a eficiência do QoV-NS durante a sua integração no AMAM. Para isso, foram consolidados, usando uma média aritmética, os resultados de 100 repetições de cada ensaio. Cada ensaio é composto por uma requisição da sequência de vídeo e sua recepção durante a movimentação do usuário, usando uma das trajetórias e classes já identificadas;
- A segunda, visa mostrar a eficiência do SMIP no que se refere à redução da latência do *handover* durante a sua integração com o AMAM. As características dos experimentos foram as mesmas nas duas categorias.

Os resultados referentes à classe 1 de movimentação, podem ser analisados nos figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

Resumo das Decisões de handover do ensaio 1

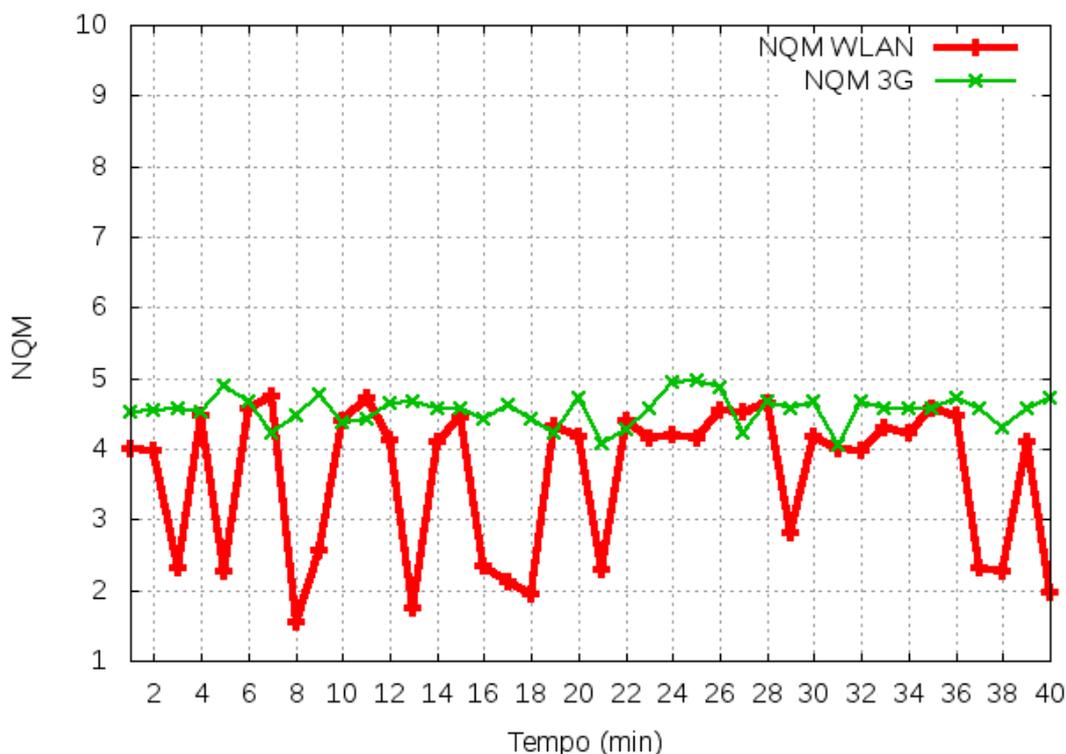


Figura 5.5: AMAM: ensaio 1

Na figura 5.5 pode ser observado que, durante a movimentação usando a trajetória 1, pode ser que, devido a grande variação encontrada nas condições de tráfego na WLAN, medida pela NQM, o móvel realizou a migração para a rede 3G, em média, após o terceiro minuto de recepção do vídeo, permanecendo na rede 3G até o final da transmissão, visto que a rede 3G apresentou valores médios de NQM sempre superiores a 3. Portanto, a uma velocidade de 1Km/h, dentro da trajetória 1, o usuário experimentou, em média, apenas uma migração entre as redes, permanecendo nela até o final da transmissão.

Por outro lado, no ensaio 2, resumido na figura 5.6, o móvel, enquanto teve a sua disposição as duas redes, permaneceu na WLAN, visto que os valores médios da NQM para a WLAN, neste cenário, se mantiveram acima de 3. No entanto, ao alcançar o limite da célula WLAN (após o ponto PCE-04), o móvel não teve mais a WLAN como opção de rede, o que fez o AMAM efetuar sua migração para a única rede disponível, a 3G. Dessa forma, o móvel permaneceu nessa rede durante todo o trajeto de ida, onde a NQM medida na WLAN, resultou sempre em 1 (valor mínimo da métrica), até retornar à origem da trajetória, onde a cobertura WLAN voltou a estar disponível e fazendo com que o AMAM verificasse melhores valores de NQM para essa rede e, então sugerisse a migração do móvel para sua rede de origem. Portanto, a 15km/h, usando a trajetória 2, o móvel realizou, em média, duas transições entre as redes, uma por volta dos 3 minutos e a outra por volta dos 27 minutos de transmissão do vídeo.

Resumo das Decisões de handover do ensaio 2

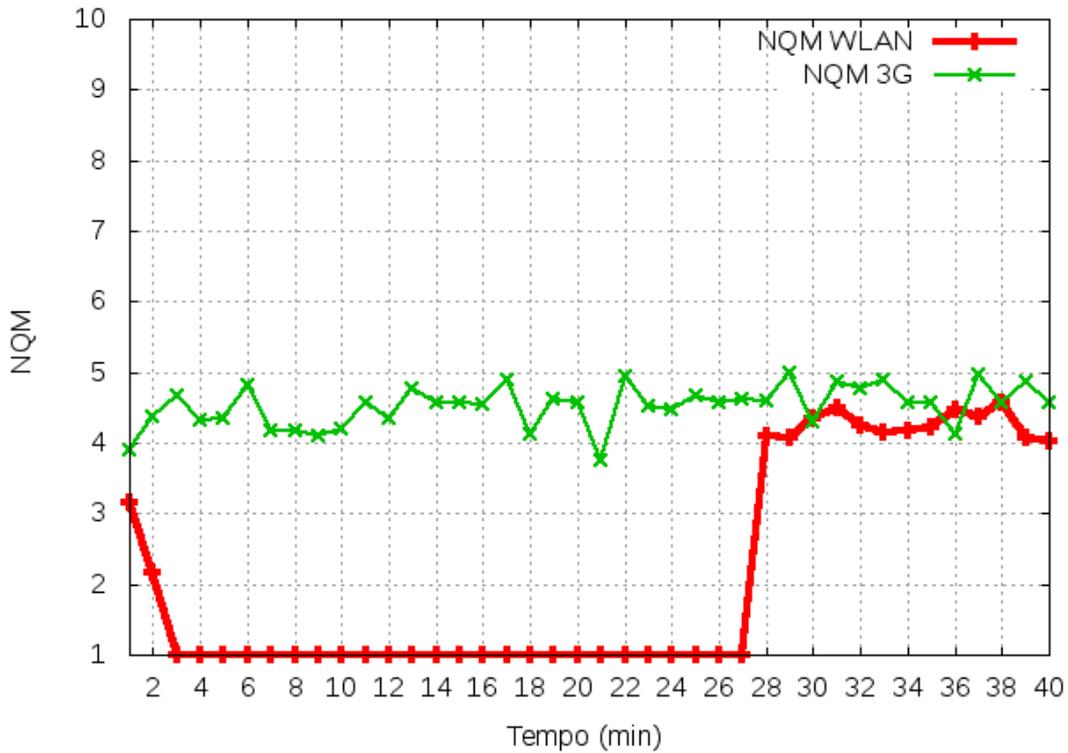


Figura 5.6: AMAM: ensaio 2

Durante o ensaio 3, onde o móvel se deslocou a uma velocidade de até 40km/h e cujo resultado está apresentado na figura 5.7, o móvel também experimentou a coexistência das duas redes durante um curto período de tempo, quando seguindo o sentido PCE-01 – > PCE-09 da trajetória 2. Por volta do segundo minuto de transmissão, o AMAM detectou valores de NQM iguais a 1 para a WLAN, efetuando assim, a migração do dispositivo para a rede 3G. Ao contrário do ensaio 2, aqui os valores da NQM medidos para a 3G, durante toda a trajetória, variaram bastante, alternando entre valores abaixo de 2 e bem próximos de 5. Essa fato levou o usuário a experimentar variações muito grandes nas perdas de datagramas, *jitter* e atraso na rede, refletindo em sua sensação visual de recepção do vídeo. Da mesma forma que no ensaio 2, ao se deslocar no sentido inverso da trajetória, o móvel voltou a medir valores de NQM para WLAN, visto que voltou a estar dentro de sua área de cobertura, tendo recomendado a migração por volta do minuto 16 de transmissão do vídeo, tendo permanecido em sua rede de origem até o final da transmissão.

Resumo das Decisões de handover do ensaio 3

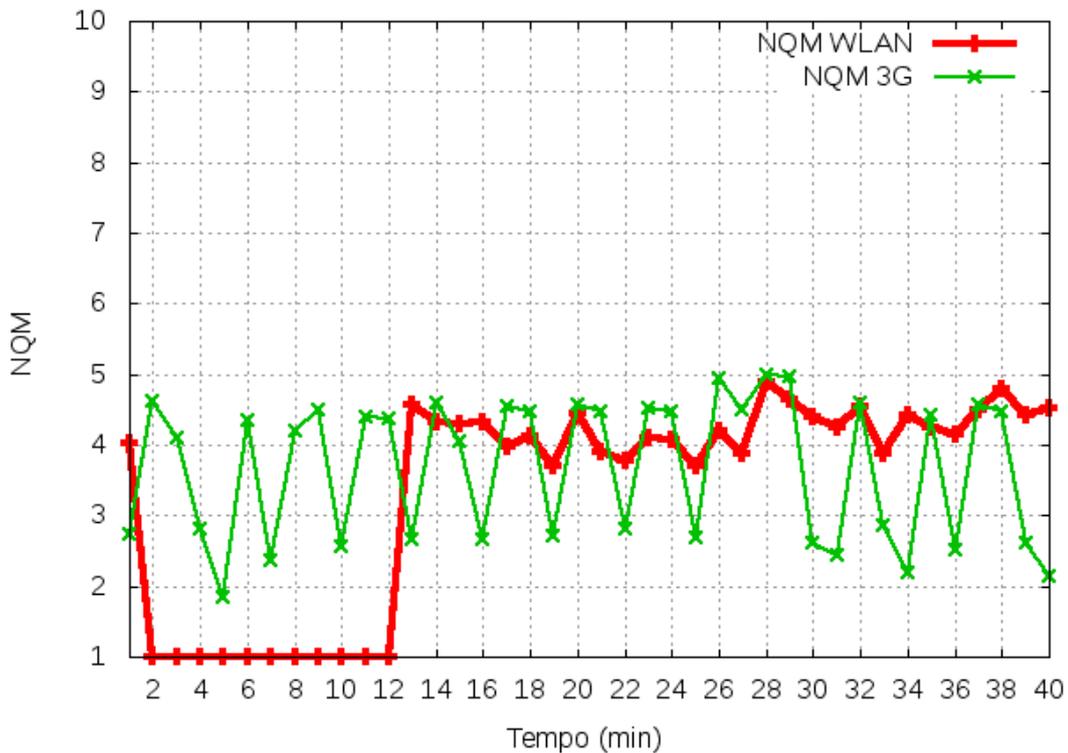


Figura 5.7: AMAM: ensaio 3

Por último, o ensaio 4, conforme pode ser visto na figura 5.8, procurou mostrar o comportamento do AMAM quando o móvel se desloca acima de 40km/h. Os resultados não foram muito diferentes dos mostrados pelo ensaio 3, a não ser pelo fato de, devido à velocidade usada (50km/h), o móvel saiu da área de cobertura da rede WLAN, antes do minuto 1 de transmissão do vídeo, fazendo com que a comparação dos valores de NQM das redes, levasse o AMAM a realizar a migração para a rede 3G rapidamente. Durante os aproximados 9 minutos de deslocamento na trajetória 2 à velocidade de 50km/h, o móvel novamente experimentou variações da NQM medidas na rede 3G, o que impactou diretamente na sensação visual de recepção do vídeo. Porém, ao retornar ao ponto da trajetória onde as duas redes voltam a coexistir, o AMAM voltou a comparar as NQMs, permanecendo na rede 3G por, aproximadamente, mais 6 minutos, até migrar para a WLAN novamente, após encontrar valores de NQM maiores que 3 nessa rede e menores que 3 na 3G.

Resumo das Decisões de handover do ensaio 4

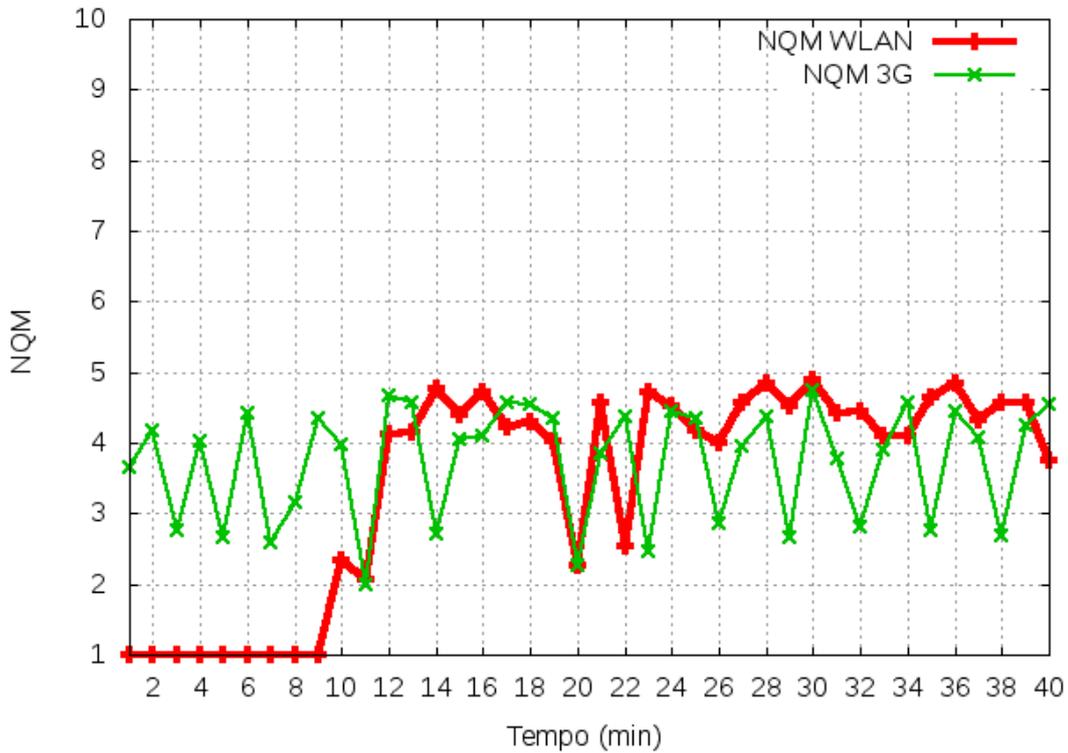


Figura 5.8: AMAM: ensaio 4

A figura 5.9, extrai dos resultados apresentados anteriormente nas figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, o resumo das quantidades médias de migrações entre redes solicitadas pelo QoV-NS ao SMIP, visando auxiliar a visualização, onde se observa o aumento da quantidade de *handovers* como consequência do crescimento da velocidade (deslocamento) do móvel e condição de tráfego das redes.

Para encontrar os resultados referentes à segunda categoria, relacionada com a atuação do SMIP, foi utilizada a mesma metodologia usada para medir a eficiência do funcionamento do SMIP, proposta no capítulo 3. Portanto, visando verificar a eficiência do SMIP, usado de forma integrada ao AMAM, foi considerada apenas a variável latência do *handover*, computada através da contabilização do tempo decorrido entre o momento em que o QoV-NS aciona o SMIP, até o momento onde o móvel tem sua conexão re-estabelecida na nova rede e passa a receber os datagramas referentes ao seu serviço iniciado na rede anterior.

Para isso, um *script* simples, foi escrito, usando a linguagem *Python*, visando transmitir datagramas ICMP para um *host* qualquer. Essa estratégia foi utilizada, objetivando registrar o momento em que a resposta a esses datagramas ICMP deixou de ser recebida e o instante em que ela voltou a ser recebida. A diferença entre esses instantes registrados, resultou então no tempo referente à latência de cada migração entre redes e foi armazenado em um arquivo para a consolidação e apresentação na figura 5.10.

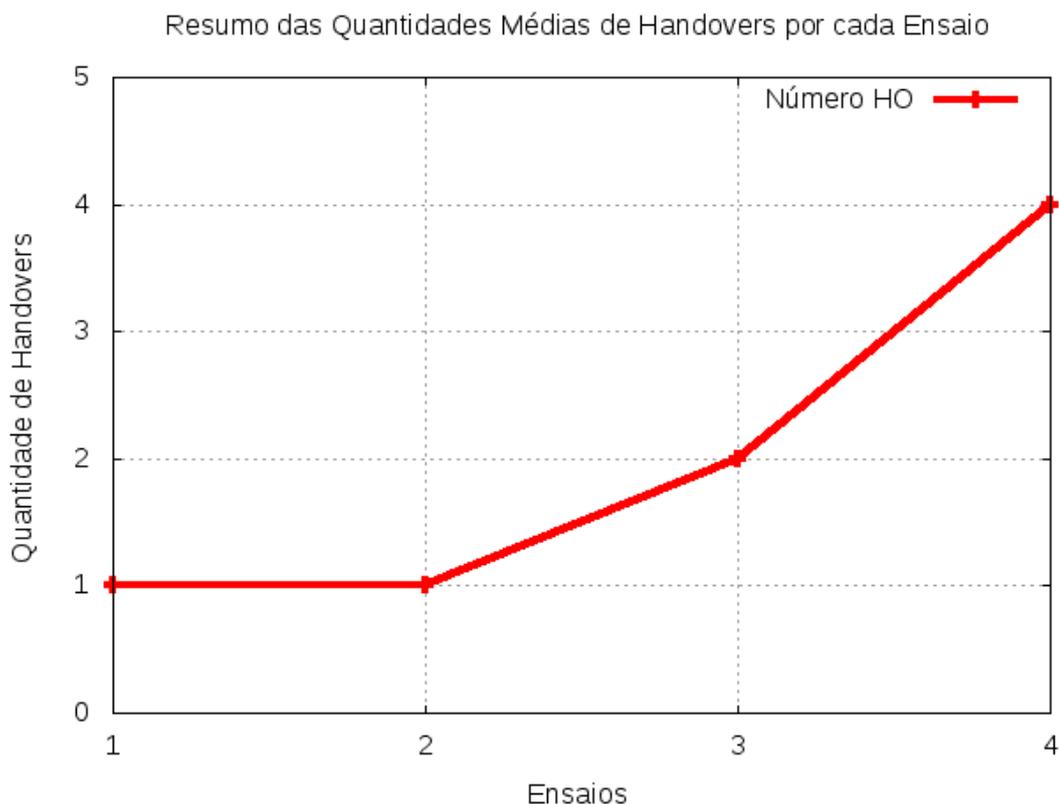


Figura 5.9: Resumo da Quantidade de *Handovers* por Ensaio

Como pode ser observado na figura 5.10, o tempo médio dos *handovers*, realizados em cada ensaio, variou em função de duas situações:

1. As condições de tráfego das redes;
2. A velocidade do móvel.

As condições de tráfego das redes são importantes, visto que, após identificado o momento da migração (pelo QoV-NS), o SMIP é acionado, necessitando trocar informações com o HA da rede *home* do usuário, visando completar sinalização de tunelamento e re-estabelecimento de rotas. No ensaio 1, embora a migração tenha sido feita no sentido WLAN – > 3G, logo no início das transmissões, a rede WLAN continuou disponível a todo momento, podendo o móvel utilizá-la para trocar informações de sinalização com o seu HA. No entanto, nos outros 3 ensaios, o móvel migrou para a rede 3G, após ter saído da área de cobertura da WLAN, sendo necessário que a troca de informações de sinalização com o HA fosse feita pela rede 3G, que, exceto no ensaio 2, apresentou condições de tráfego ruins, avaliadas pela NQM.

Por outro lado, a velocidade de deslocamento do móvel foi decisiva nos resultados, visto que a sensibilidade da arquitetura, parametrizada pelo número de *rounds* e pela quantidade de requisições ICMP, é retardada de forma proporcional ao crescimento da referida velocidade. Para exemplificar, pode ser observado o caso do ensaio 2, onde o móvel se desloca a 15km/h e sua



Figura 5.10: Resumo dos Tempos Médios dos *Handovers* por Ensaio

migração para a rede 3G é realizada por volta do minuto 2 de transmissão. Ao se mover com essa velocidade, o móvel dá chance à arquitetura de verificar a redução da NQM, em função da redução drástica do nível de sinal medido. Dessa forma, a arquitetura tem tempo de tomar a decisão de migração, ainda com as duas redes disponíveis.

Mas nem sempre isso é possível, visto que, quanto maior a velocidade, menor o tempo que a arquitetura tem de verificar que o nível de sinal de uma determinada rede caiu ou está caindo. A observação mostra que, mesmo em dispositivos móveis modernos, o nível de sinal é uma medida feita através da leitura da **interface** física de comunicação, usando uma camada de **software**, sendo quase sempre, essa medida feita em intervalos de tempo que podem, ou não, ser suficientes para que ações nas camadas superiores sejam tomadas. Assim, nos ensaios 3 e 4, onde as velocidades foram de 40km/h e superior a isso, respectivamente, foi notado que, embora com algum atraso, demonstrado pelo tempo elevado em que o móvel teve sua sessão descontinuada (acima de 1 segundo), a arquitetura funcionou bem, possibilitando ao usuário uma experiência confortável com a recepção do vídeo, considerando uma sequência codificada a uma taxa de 300kbps, uma rede com vazão suficiente para transmitir/receber esse vídeo e uma desconexão de 1400ms máxima (conseguida no ensaio 4), o que resultaria em uma perda de mais ou menos 3 datagramas RTP, compensada pelo habitual uso de **buffers** nos **players** e pelas compensações feitas pelos protocolos usados para controle de fluxo multimídia (RTP e RTSP).

5.4 Conclusão do Capítulo

A tarefa de integrar redes sem fio heterogêneas não é fácil. Nesta tese, essa tarefa foi discutida e focada nos problemas causados pelo *handover*, momento crítico do processo de integração. Além disso, o trabalho foi conduzido sempre no sentido de encontrar soluções eficientes, práticas e de implementação e implantação possíveis em ambientes envolvendo redes reais.

No início, foi procurado a integração entre dois tipos de redes (WLAN e 3G). Depois, com o desenvolvimento do trabalho, foi verificado que as soluções propostas, por considerarem os problemas envolvidos com as camadas 1 e 2 resolvidos, poderiam ser aplicadas a qualquer rede. Esse fato ficou bastante evidente quando o trabalho considerou todas as outras redes, exceto a WLAN *home* do usuário, como redes visitadas e sem o controle necessário para proporcionar a interoperação. Assim, as soluções desta tese ganharam independência das redes envolvidas, podendo então, ser consideradas quantas e quais redes forem necessárias, bastando para isso, que o terminal móvel possua as **interfaces** necessárias para a conexão em tais redes.

Sendo assim, depois de encontrar duas boas soluções para os problemas de mobilidade IP e de seleção de redes, a integração das duas em um ambiente, foi decisiva para comprovar a eficiência das mesmas em situações reais, que consideraram rede e usuários em produção.

O AMAM possui características configuráveis, se apresentando como uma boa opção para aplicações que tratem qualquer tipo de dado. Embora os testes todos tenham sido conduzidos considerando tráfego de vídeo, o ambiente construído nesta tese apresenta boa adaptação a outros tipos de aplicações através de sua API.

Capítulo 6

Conclusões e Continuação do Trabalho

Como foi apresentado, o desafio manter a conexão de usuários, em movimentação entre redes *wireless* heterogêneas, é muito grande e possui seu núcleo baseado no problema da gerência de mobilidade durante o processo de *handover*.

Algumas iniciativas no sentido de reduzir os tempos envolvidos nesse processo de migração do usuário entre redes foram abordadas neste trabalho, usando arquiteturas, padrões, protocolos e técnicas, visando tornar o melhor possível a experiência do usuário durante seu acesso à serviços disponibilizados por seu provedor, nesse cenário de mobilidade.

Embora existam vários aspectos a serem tratados durante a integração de redes sem fio heterogêneas, este trabalho concentrou-se em dois problemas: o determinado pela mobilidade IP e o determinado pelo processo de seleção de redes. As duas soluções apresentadas são complementares e, por isso, foram integradas em um ambiente, também descrito neste trabalho.

O SMIP é apresentado como uma solução para gerenciar a mobilidade na camada 3 em ambientes onde estejam disponíveis redes heterogêneas ou não, baseadas no protocolo IP. Algumas características especializam o SMIP para o cenário definido nesta tese. Algumas destas características são:

- O SMIP precisa que o usuário móvel inicie sua requisição de serviço, estando em sua rede *home*. No caso deste trabalho, a rede *home* foi considerada como sendo uma WLAN, visto a facilidade de inserir no núcleo dessa rede, a parte servidora da arquitetura SMIP, constituída pelo HA. Isso implicou que, durante todos os testes realizados, as requisições de serviço tinham sempre que ser iniciadas a partir de uma WLAN *home*, para então o usuário poder se movimentar. Essa é uma restrição do ambiente e não da solução, visto que, se for possível a instalação do SMIP HA no núcleo de qualquer uma das redes disponíveis ao móvel, o usuário experimentará a possibilidade de iniciar um serviço a qualquer momento e a partir de qualquer rede;
- O SMIP prevê seu funcionamento em ambientes de redes sobrepostas. No entanto, em deslocamentos longos (considerados aqui como espaços percorridos por usuários onde não exista

cobertura de sua WLAN *home*), realizados entre o campus Palmas do IFTO e a sede da Reitoria do mesmo instituto, o móvel iniciou as requisições ICMP usando a WLAN do campus, para depois ser deslocado de carro até a reitoria. Antes que o sinal WLAN deixasse de existir, a rota *default* do móvel foi trocada para a *interface* 3G e as repostas às requisições ICMP continuaram a chegar pelo túnel montado entre o HA e o CoA 3G do móvel. Ao chegar na sede da reitoria, novamente as duas redes (WLAN e 3G) passaram a coexistir, momento em que a rota *default* do móvel foi novamente trocada para utilizar a *interface* WLAN. Esse teste foi feito nos dois sentidos, ou seja, iniciando as requisições ICMP a partir da WLAN do campus para, depois iniciar o deslocamento à reitoria e iniciando as requisições ICMP a partir da WLAN da reitoria, para depois iniciar o deslocamento ao campus. Em ambos os casos, os resultados foram iguais aos alcançados pelos testes feitos dentro do campus;

- O SMIP funciona tanto em redes baseadas em IPv4 quanto em IPv6. Para isso, duas implementações foram realizadas, considerando que as APIs de *sockets* para IPv4 e IPv6 são diferentes. Embora os testes em ambientes em produção tenham sido feitos considerando redes IPv4, visto a indisponibilidade de **backbones** IPv6 "puros", testes realizados em ambiente controlado, mostraram que os resultados são bastante semelhantes aos apresentados em redes IPv4.

Sendo assim, o uso do SMIP se mostrou eficiente para o cenário proposto e aderente para aplicação em ambientes reais e em produção, não exigindo o acoplamento de redes, possibilitando dessa forma, o uso da solução de forma independente de operadoras de redes, levando a mesma à eficiência em ambientes onde co-existam várias redes sem fio com tecnologias diferentes.

Este trabalho apresenta resultados empíricos e analíticos sobre a composição de uma métrica de rede, capaz de prever a capacidade de uma rede para suportar um determinado tipo de tráfego. No início desta pesquisa, o que estava sendo procurado era uma métrica de QoV-NR, que pudesse ser usada de forma eficiente e prática, em uma arquitetura para selecionar uma rede dentro de um conjunto disponível. No entanto, após verificar algumas opções de métricas de QoV, desde o PSNR, até o AVQ, passando pelo MTBF, o trabalho acabou convergindo para o tratamento dessa métrica, considerando apenas variáveis de rede.

Para isso, um estudo empírico, baseado em um conjunto de ensaios repetidos, acabou por demonstrar que é possível diagnosticar a aptidão de uma rede para a transmissão de um determinado tipo de tráfego, fazendo com que fosse proposta e usada a métrica NQM na arquitetura do QoV-NS, numa tentativa de antever o momento do *handover* do móvel, atuando de forma pró-ativa e não apenas reativa, como os algoritmos de NS vêm fazendo em dispositivos móveis recentes.

Desta forma, foi alcançado um resultado consistente nos experimentos práticos realizados, mostrando que a solução apresentada é eficiente e de fácil aplicação em ambientes reais, devido a sua independência de operadoras e infra-estrutura de redes.

Pode ser concluído, então, que com esforços na integração destas soluções, podemos alcançar sucesso ao enfrentar tal desafio. A estratégia de identificar e dividir o desafio em 2 problemas se mostrou eficiente, visto que possibilitou focar a atenção para cada problema individualmente,

produzindo soluções intermediárias para cada um deles, que integradas oferecem uma solução simples e de implementação viável para superar o desafio proposto.

No entanto, o ambiente proposto mostra apenas um caminho viável para uma solução definitiva, visto que alguns aspectos precisam ser investigados e melhorados, fato que poderá (e deverá) ser feito em trabalhos futuros.

6.1 Trabalhos Futuros

Uma comparação entre alguns outros esquemas de seleção de rede envolvendo técnicas como lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos, redes neurais e mecanismos de avaliação como MADM e SAW podem ter seus resultados comparados com o QoV-NS, constituindo um caminho também possível para a continuação desse trabalho. Além disso, é recomendável que outros testes sejam realizados com o ambiente proposto, visando submetê-lo a cenários onde outras tecnologias de redes de acesso possam estar disponíveis.

Além disso, mesmo sabendo da possibilidade de aplicação do QoV-NS como gatilho para a escolha da melhor rede disponível, independente do tipo de rede envolvida, testes com outras redes como WIMAX, bluetooth, zigbee, etc, ainda são necessários para aferir o nível de eficiência da solução proposta.

As propostas aqui apresentadas podem servir de base para diversas aplicações que precisem de suporte, na camada 3, para mobilidade de terminal. Embora sejam necessárias melhorias no protótipo apresentado, sua aplicação em redes veiculares se apresenta com uma boa continuação do trabalho, assim como a aplicação direta em dispositivos embarcados usados para monitorar determinadas variáveis do corpo humano, dando suporte a dispositivos que realizam essas medidas e as transmitem *on-line* para uma central de monitoramento.

Idéias relacionadas a proposta de modelos de predição de PSNR e de outras métricas de QoV sem referência podem ser consideradas como possibilidades de continuação deste trabalho, buscando generalizar os modelos aqui propostos, comparando-os entre si, além de buscar parâmetros para medir a acurácia da NQM, usando métricas de vídeo mais sensíveis a variações nas métricas de rede.

Apêndice: NQM e PSNR medidos nos pontos de coleta internos e externos para as sequências de vídeo de 2 a 7

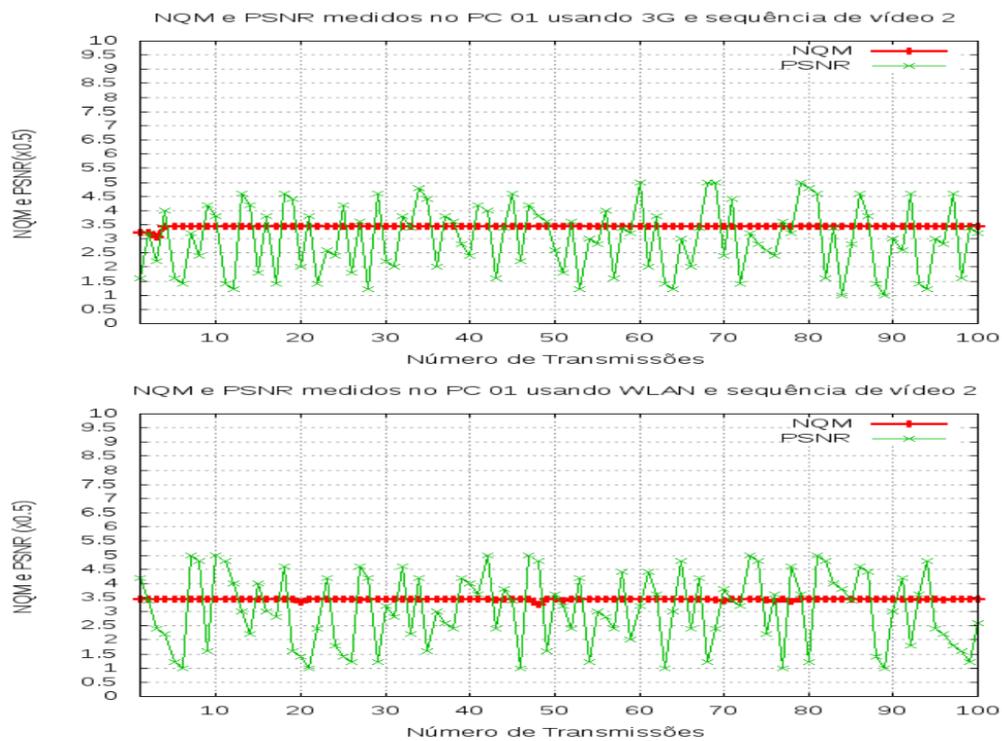


Figura 6.1: NQM x PSNR no PC-01

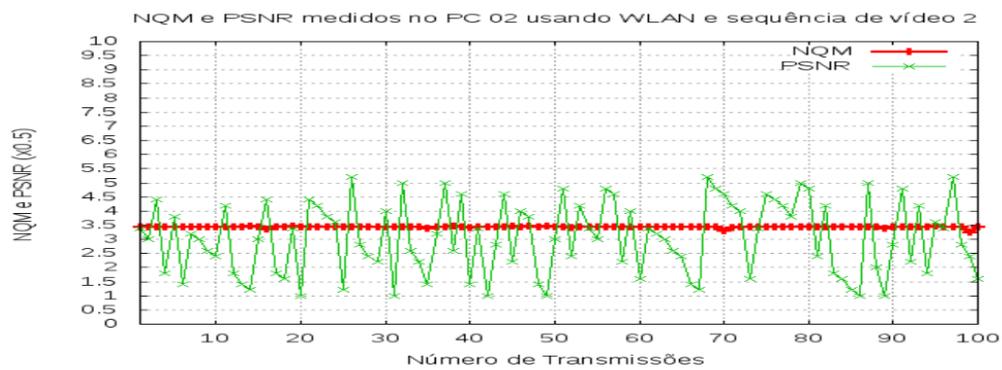
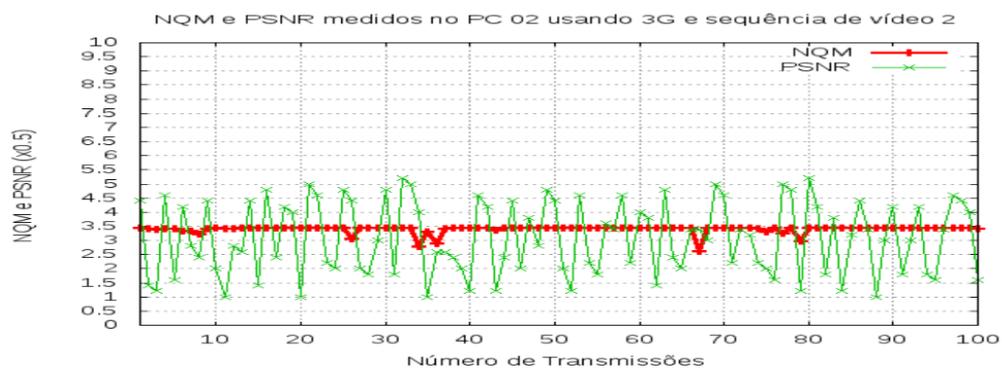


Figura 6.2: NQM x PSNR no PC-02

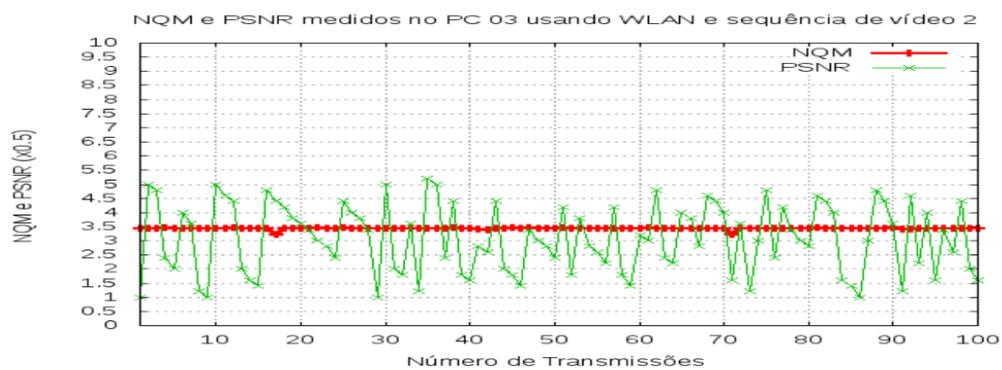
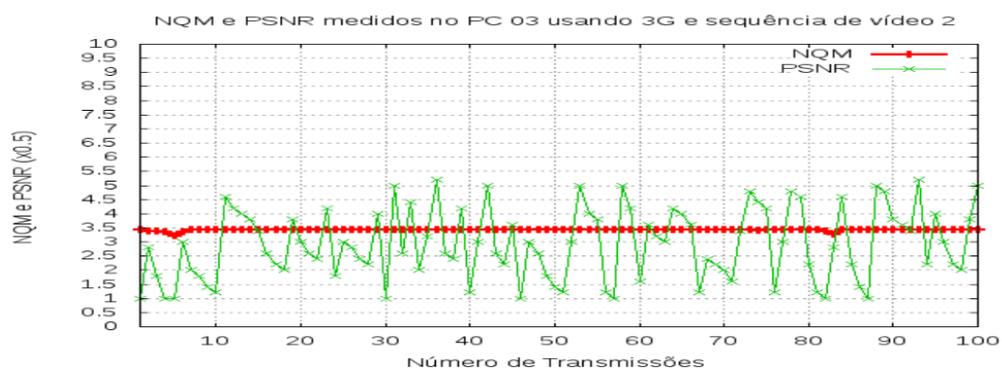


Figura 6.3: NQM x PSNR no PC-03

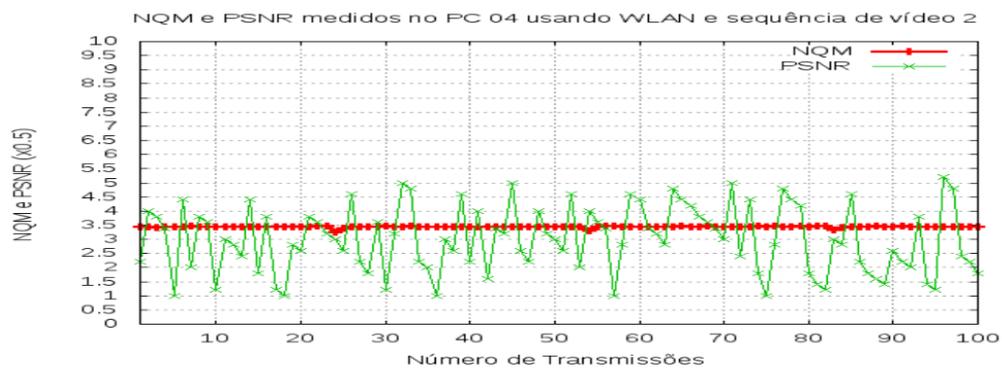
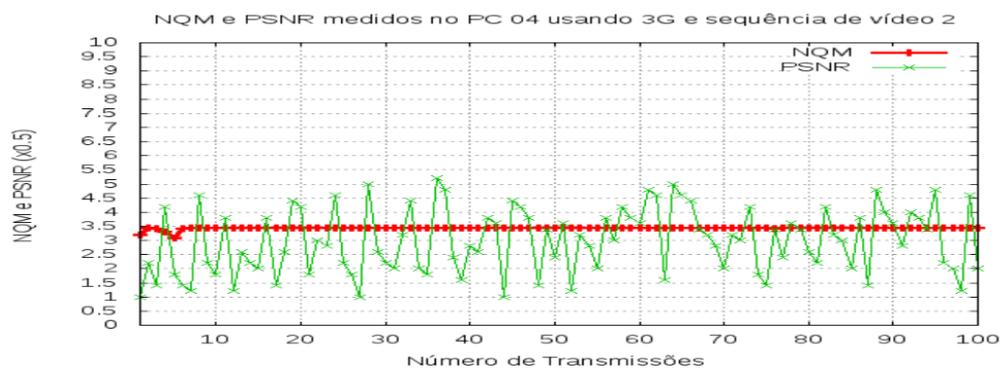


Figura 6.4: NQM x PSNR no PC-04

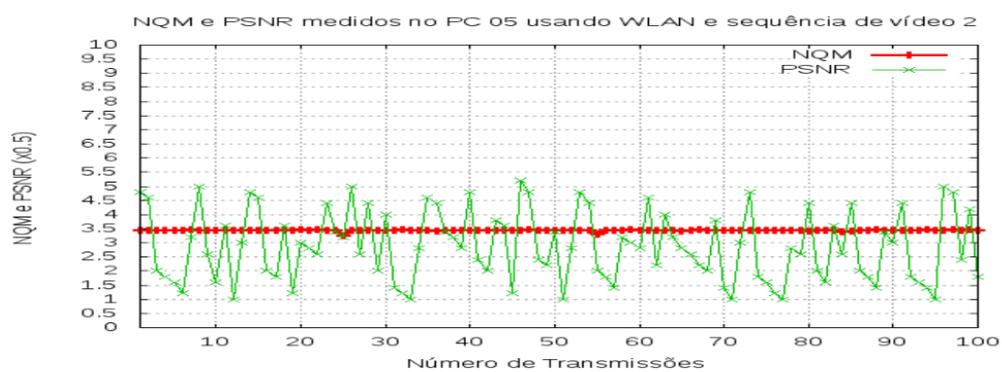
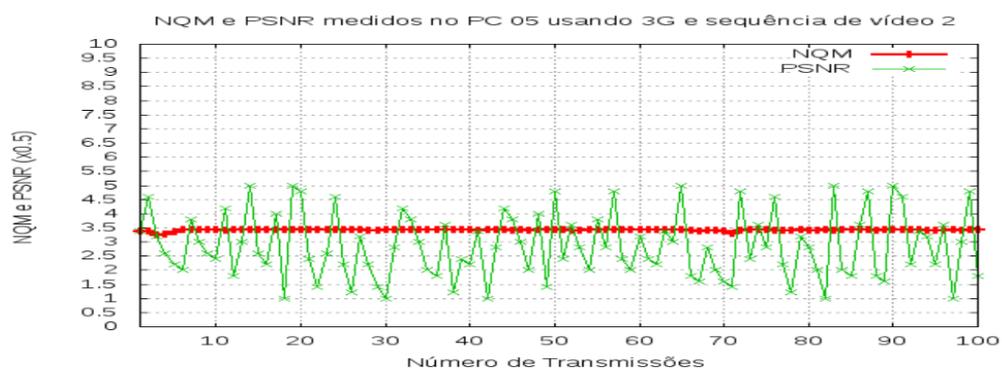


Figura 6.5: NQM x PSNR no PC-05

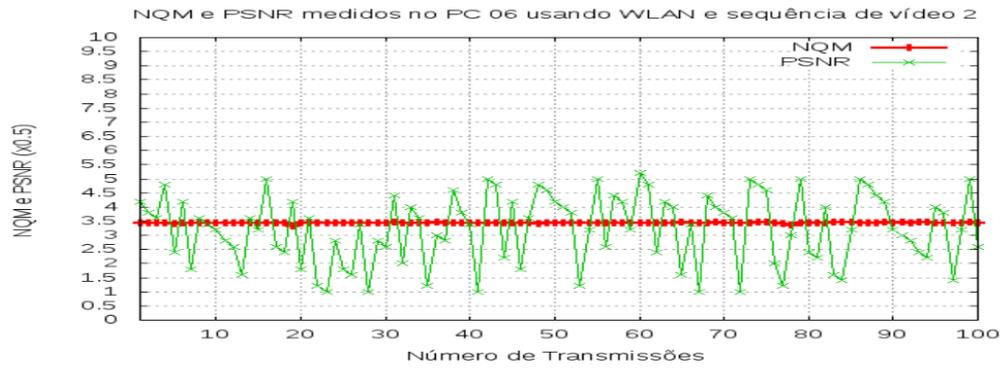
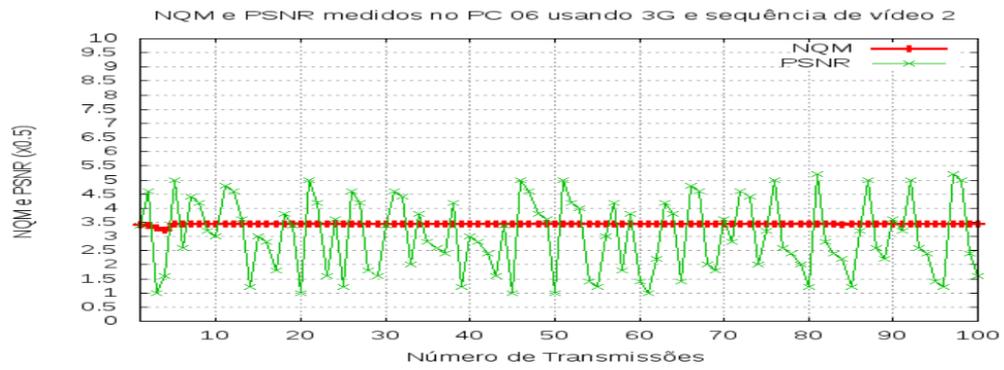


Figura 6.6: NQM x PSNR no PC-06

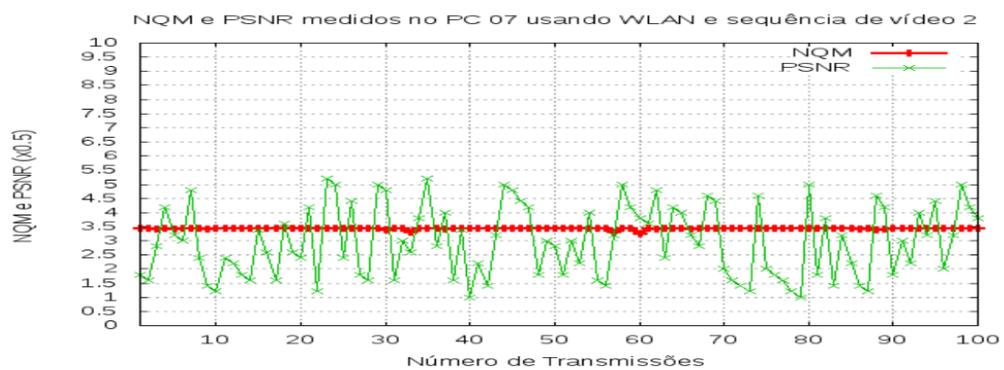
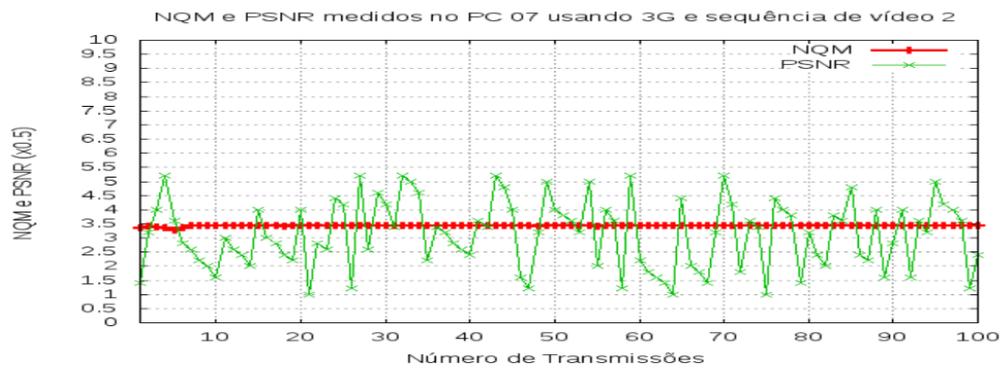


Figura 6.7: NQM x PSNR no PC-07

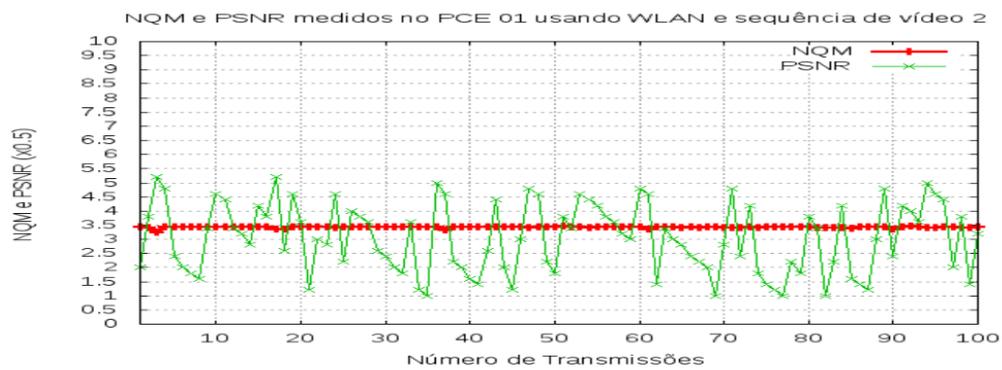
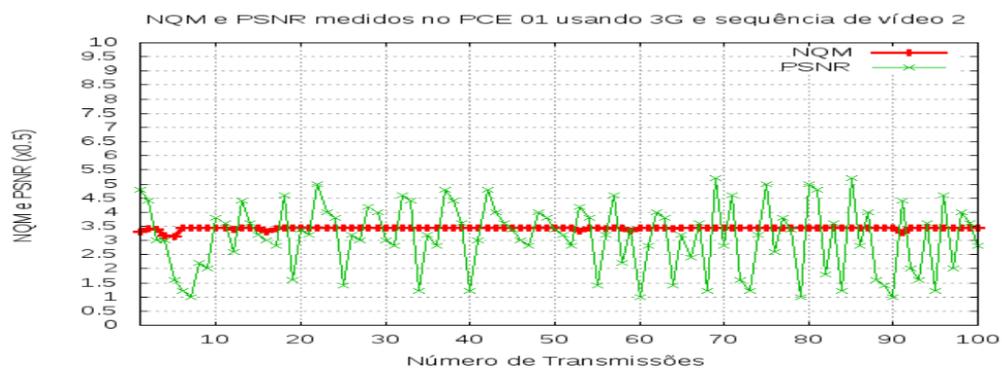


Figura 6.8: NQM x PSNR no PCE-01

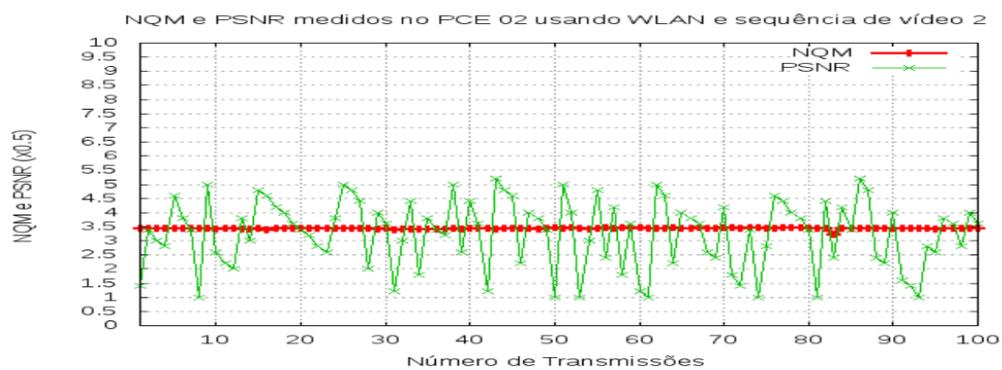
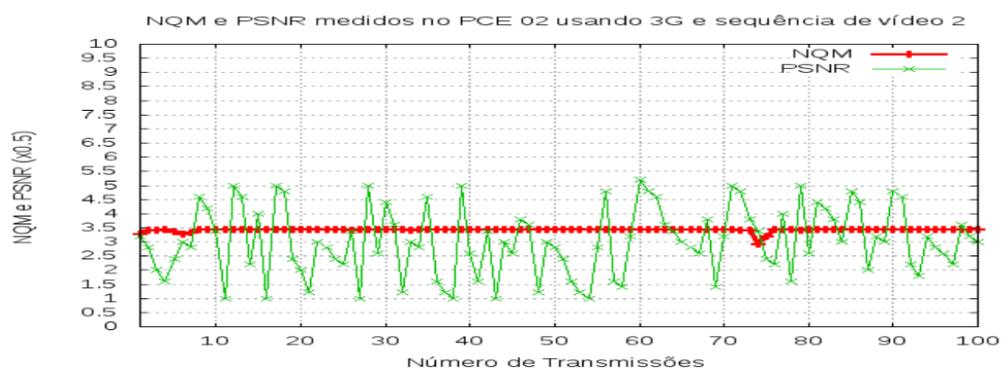


Figura 6.9: NQM x PSNR no PCE-02

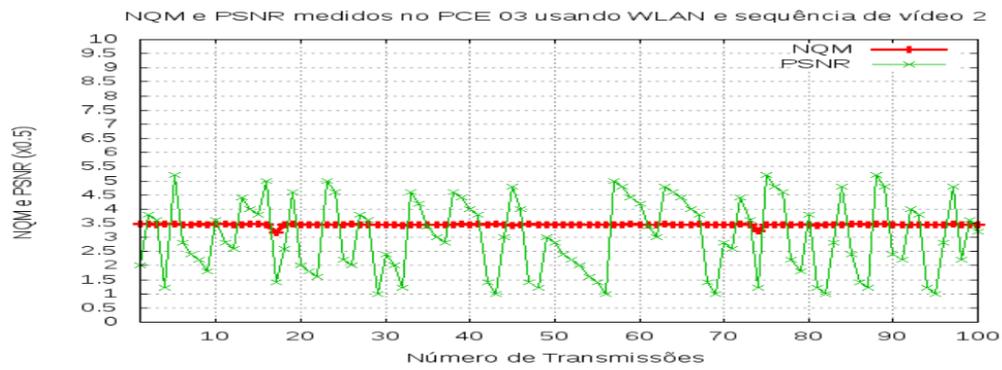
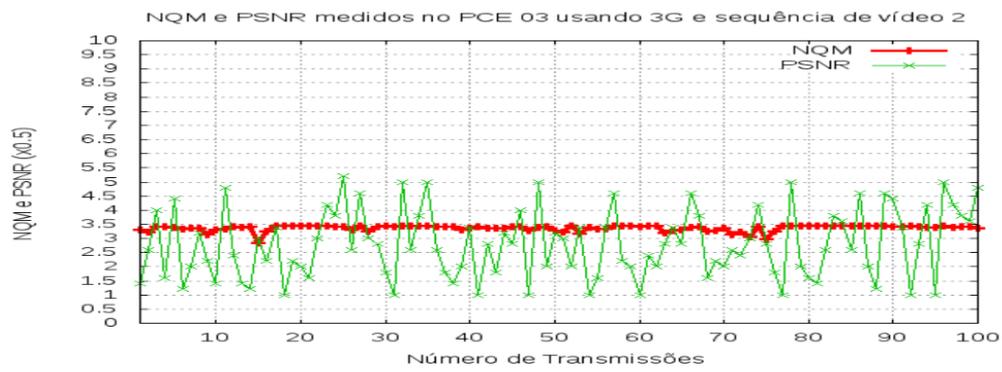


Figura 6.10: NQM x PSNR no PCE-03

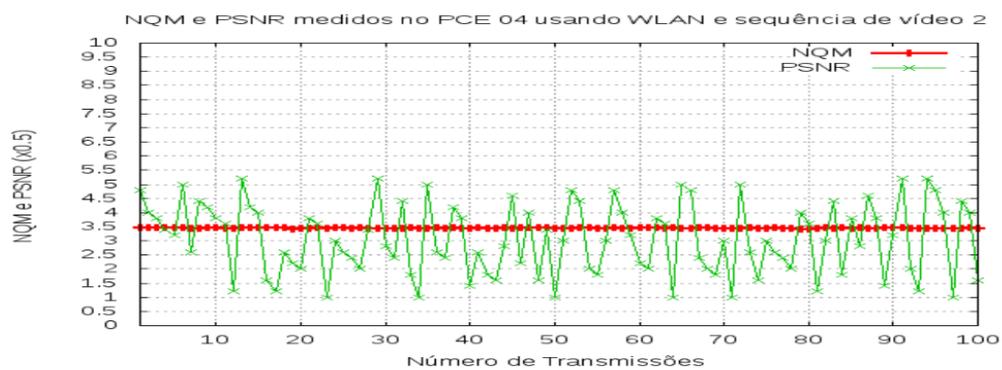
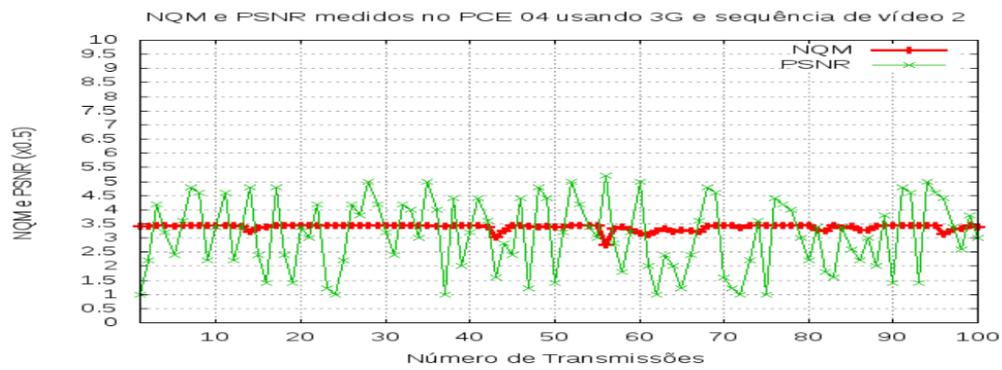


Figura 6.11: NQM x PSNR no PCE-04

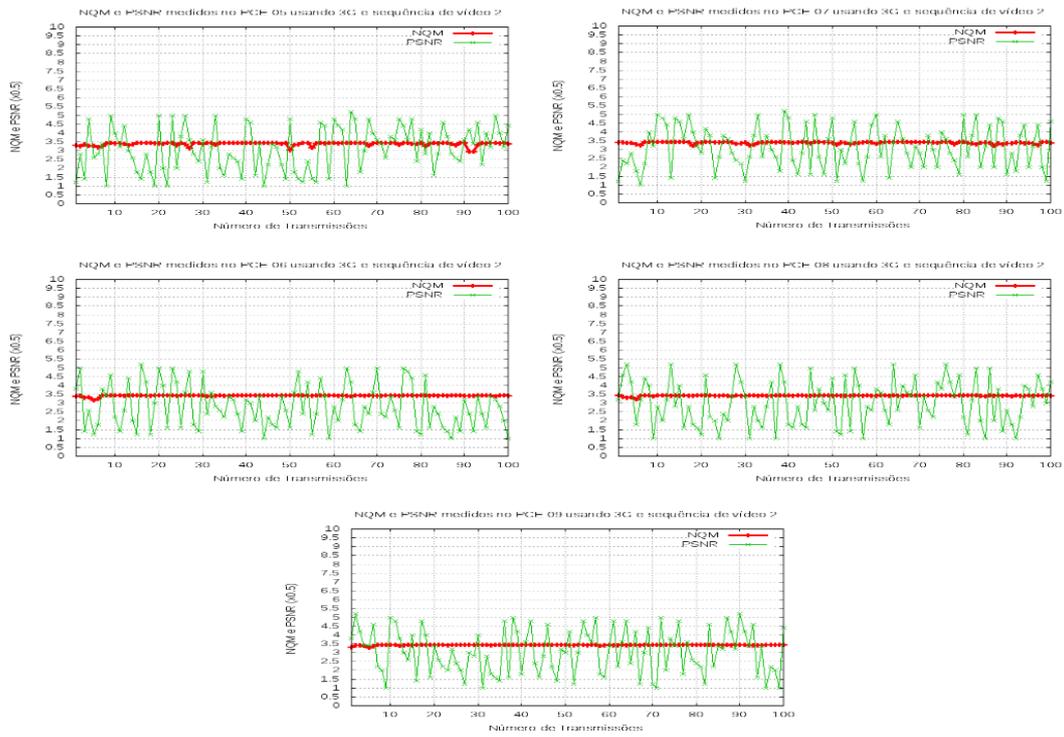


Figura 6.12: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

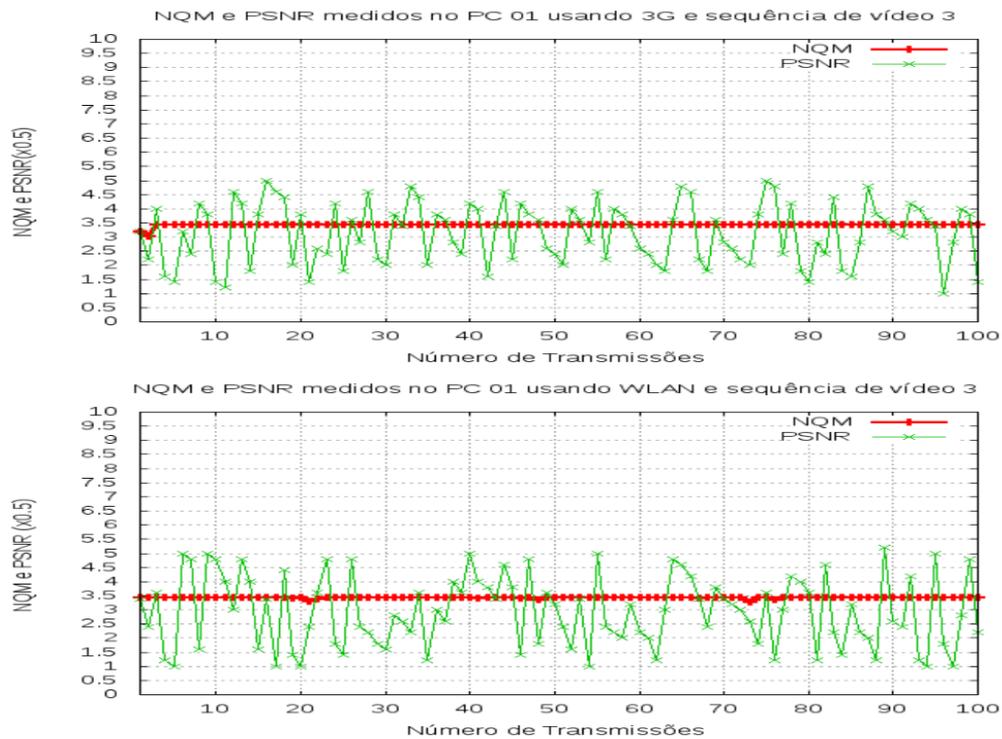


Figura 6.13: NQM x PSNR no PC-01

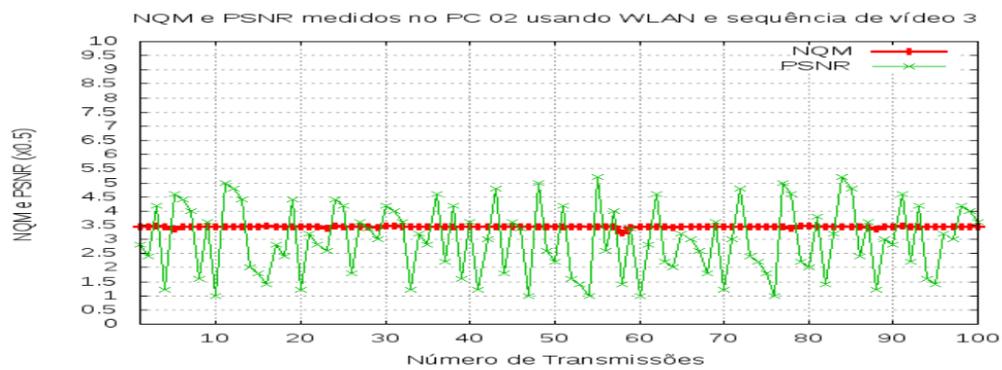
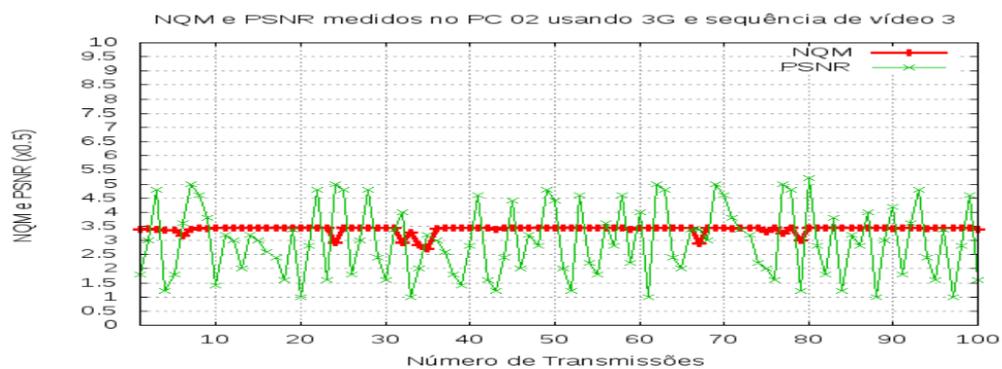


Figura 6.14: NQM x PSNR no PC-02

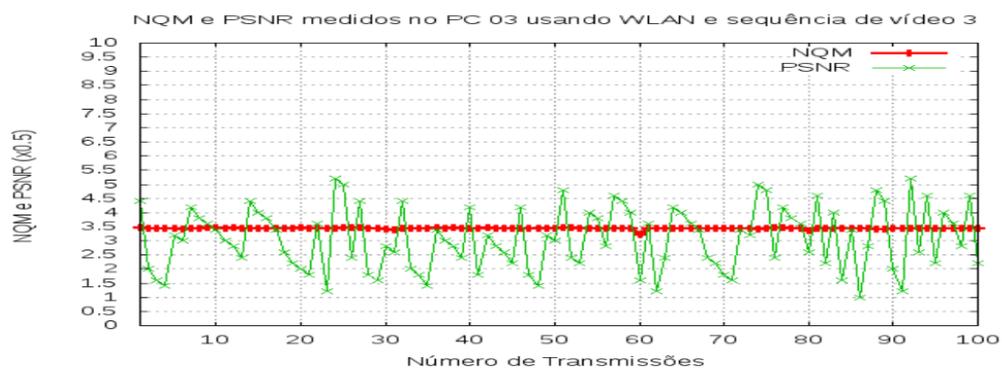
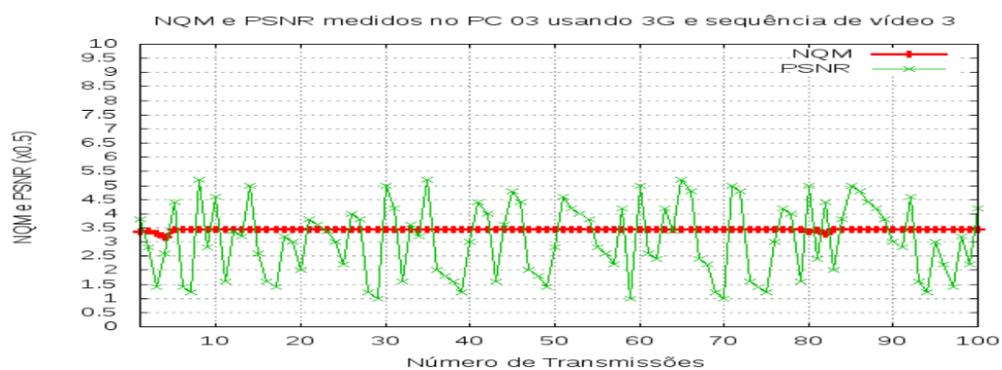


Figura 6.15: NQM x PSNR no PC-03

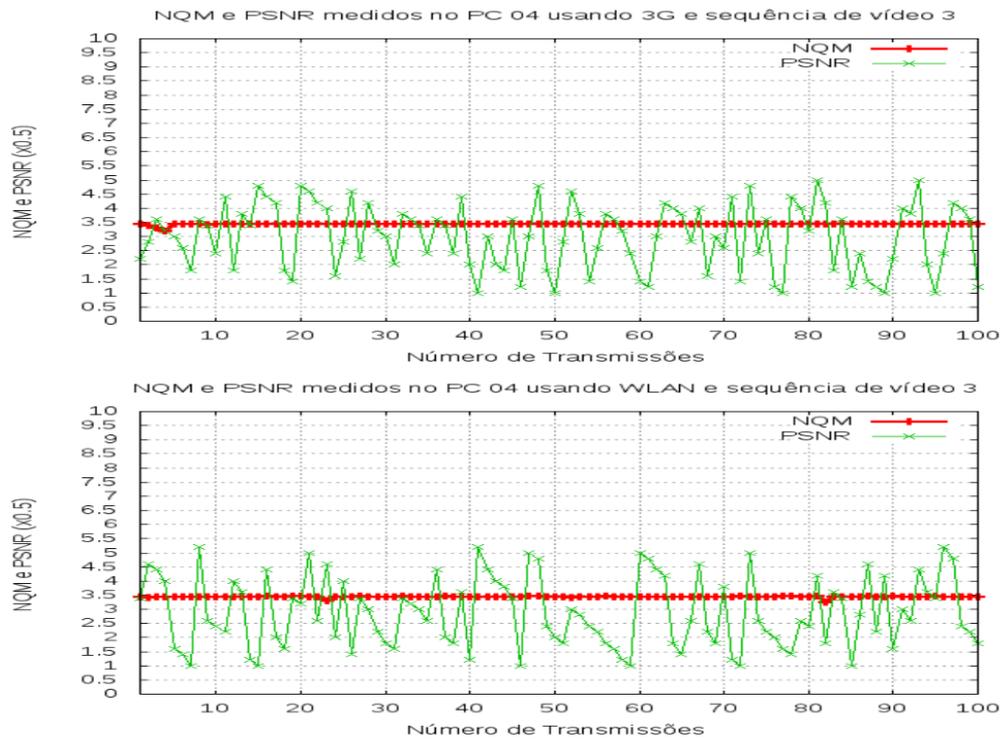


Figura 6.16: NQM x PSNR no PC-04

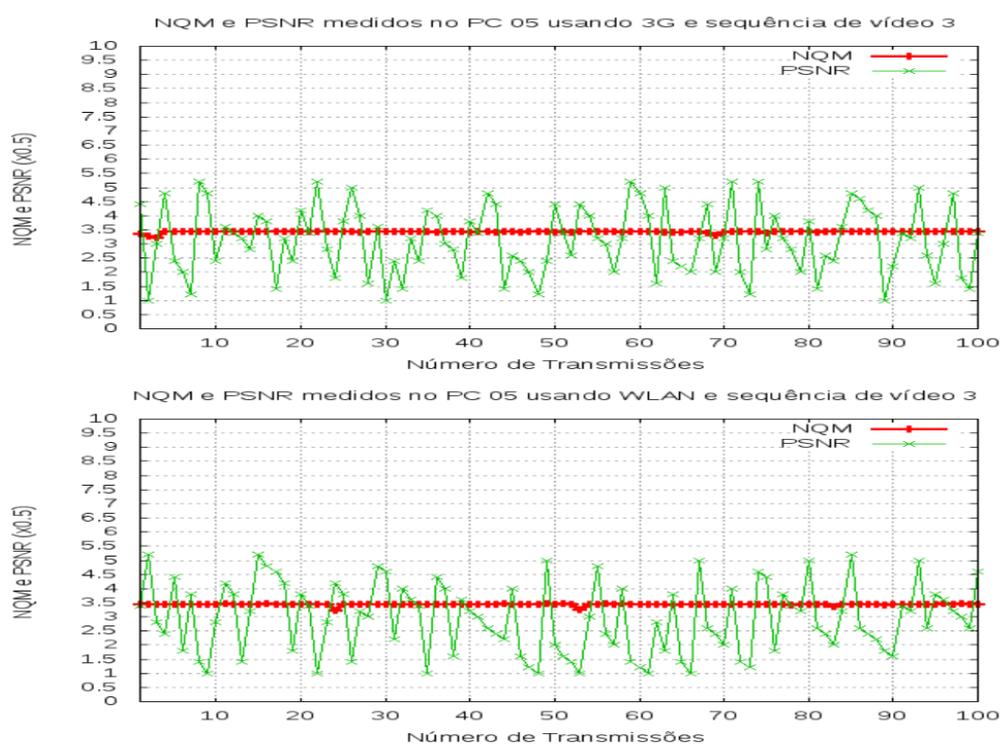


Figura 6.17: NQM x PSNR no PC-05

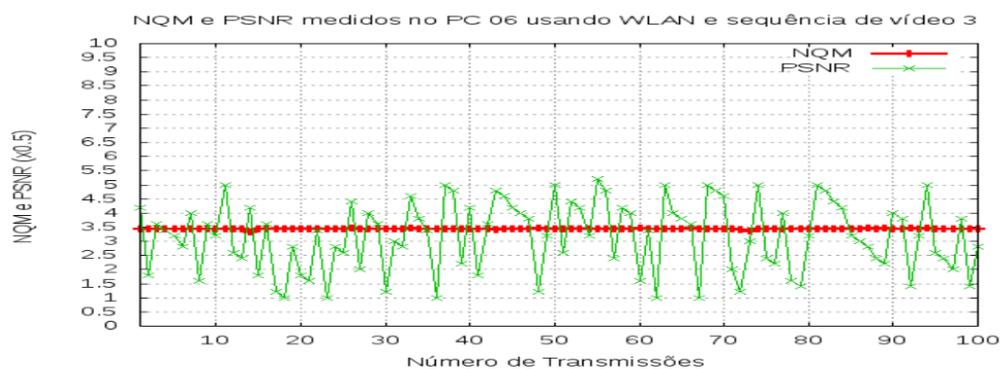
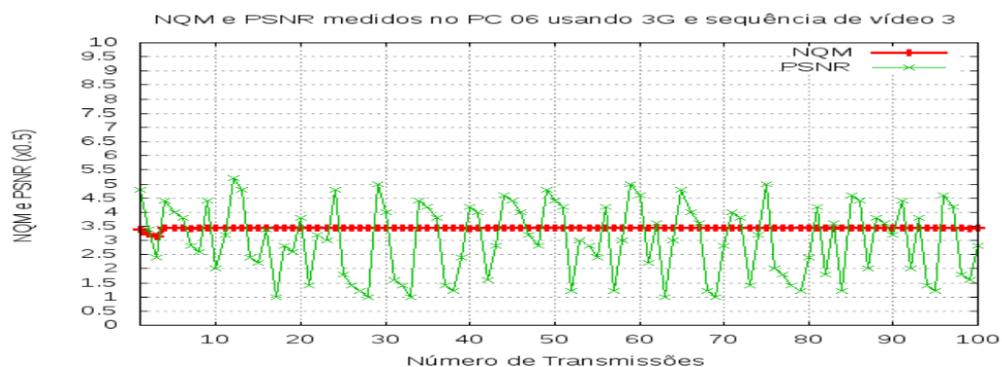


Figura 6.18: NQM x PSNR no PC-06

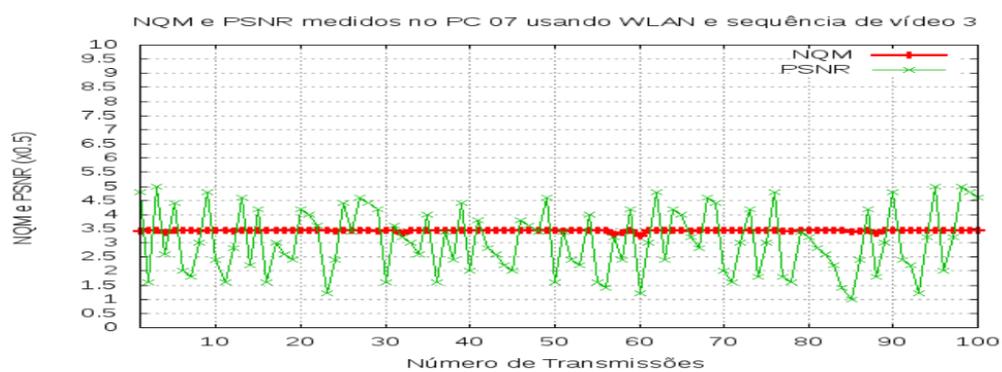
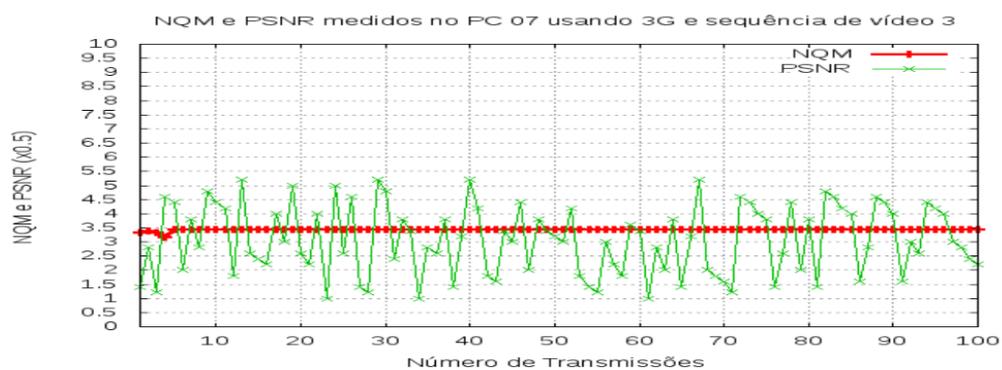


Figura 6.19: NQM x PSNR no PC-07

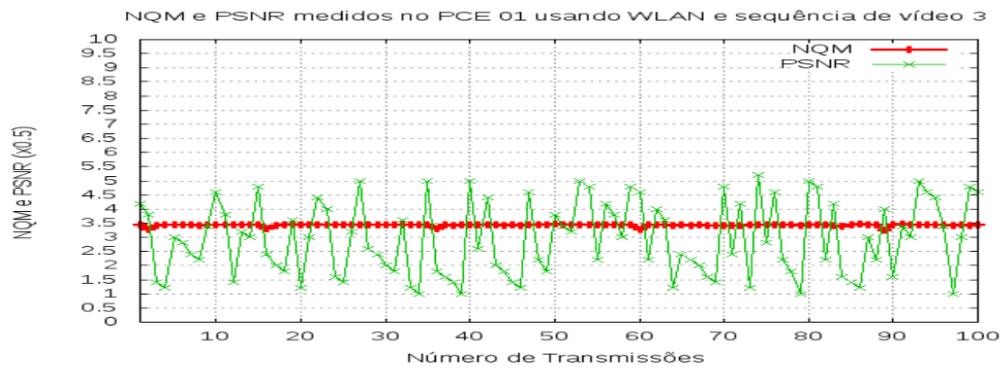
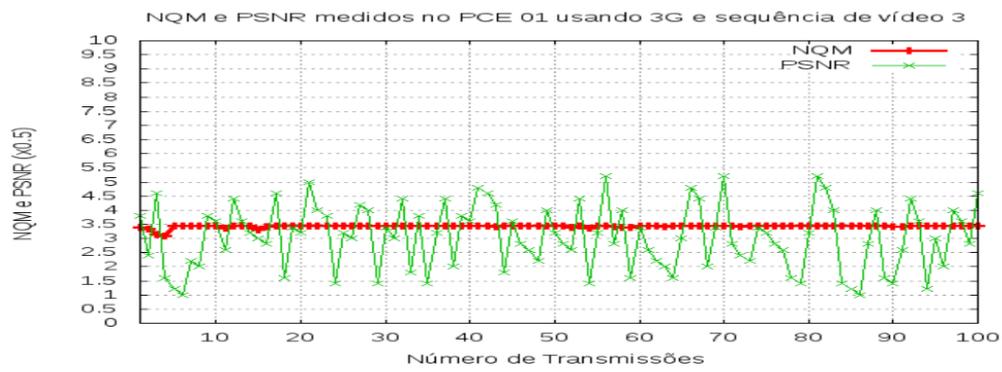


Figura 6.20: NQM x PSNR no PCE-01

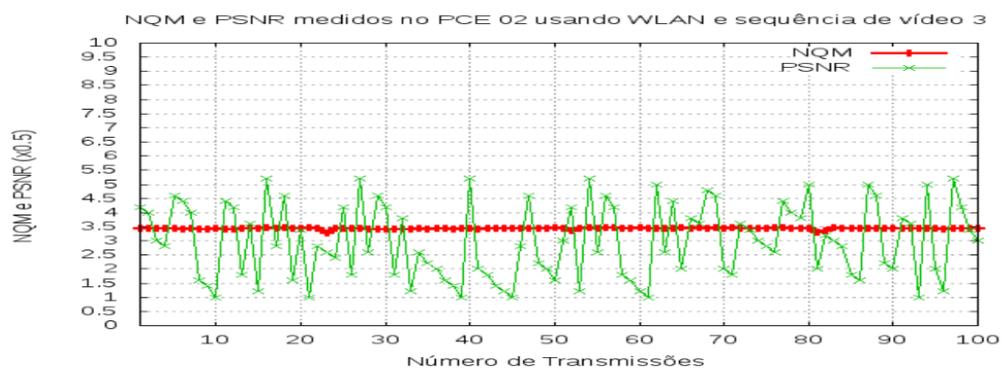
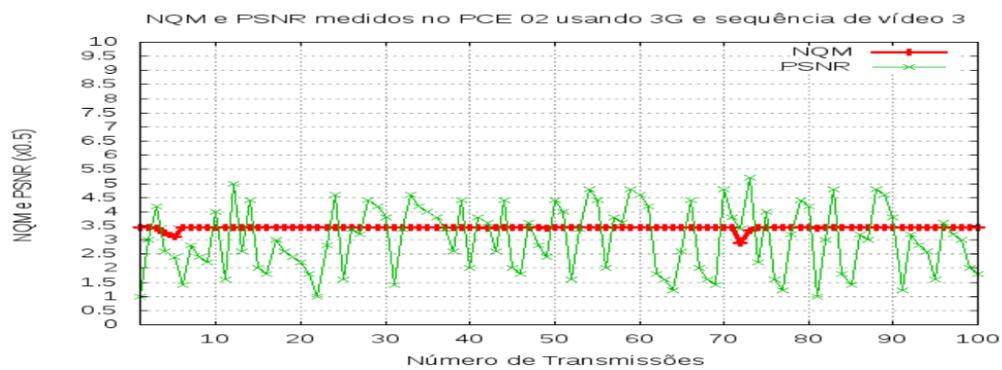


Figura 6.21: NQM x PSNR no PCE-02

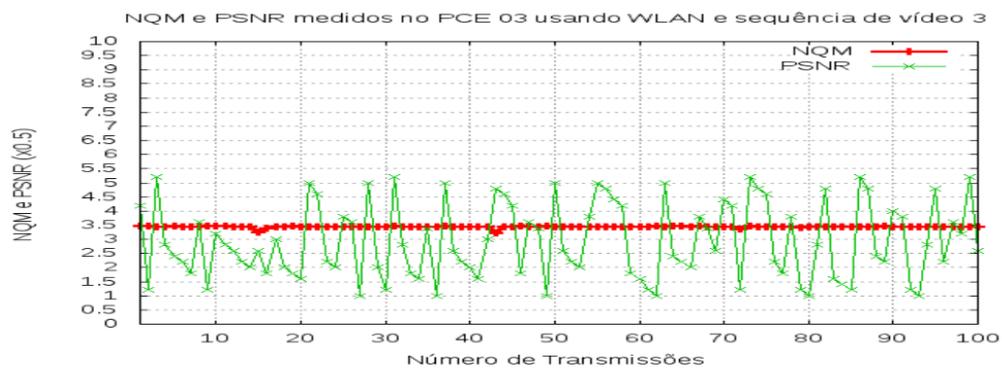
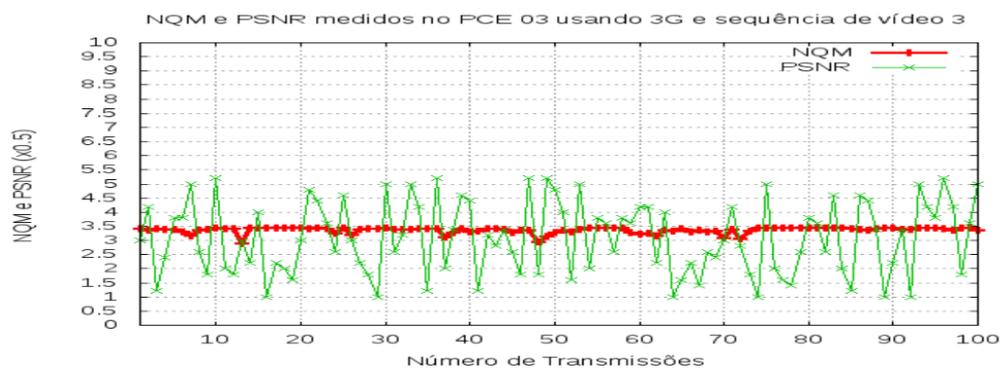


Figura 6.22: NQM x PSNR no PCE-03

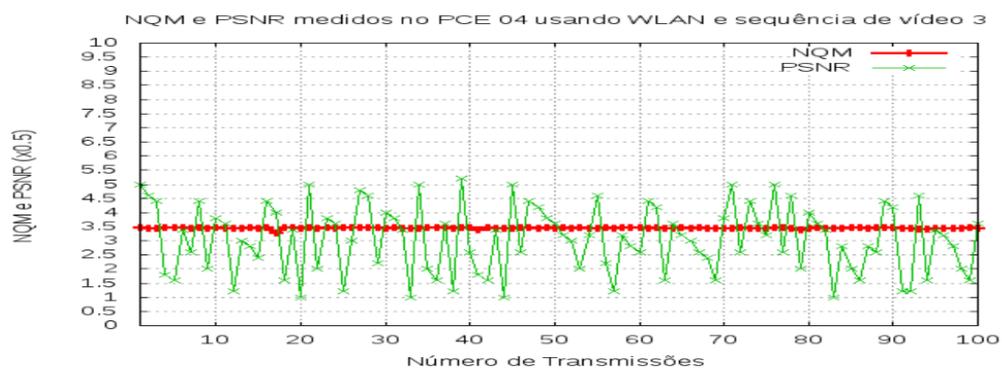
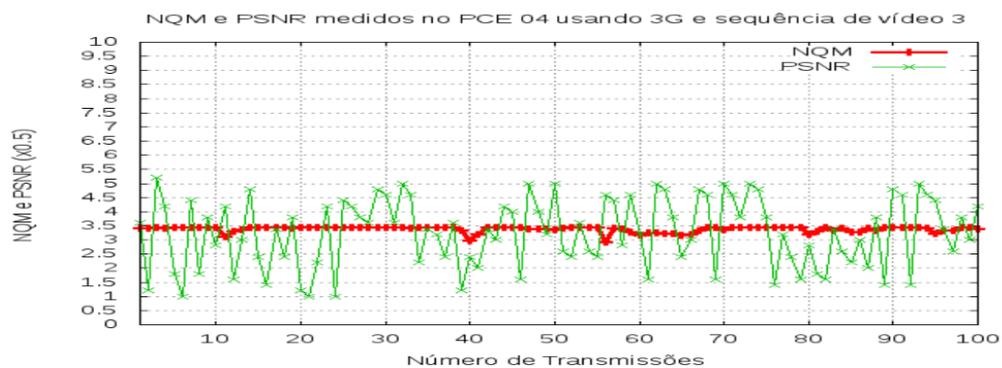


Figura 6.23: NQM x PSNR no PCE-04

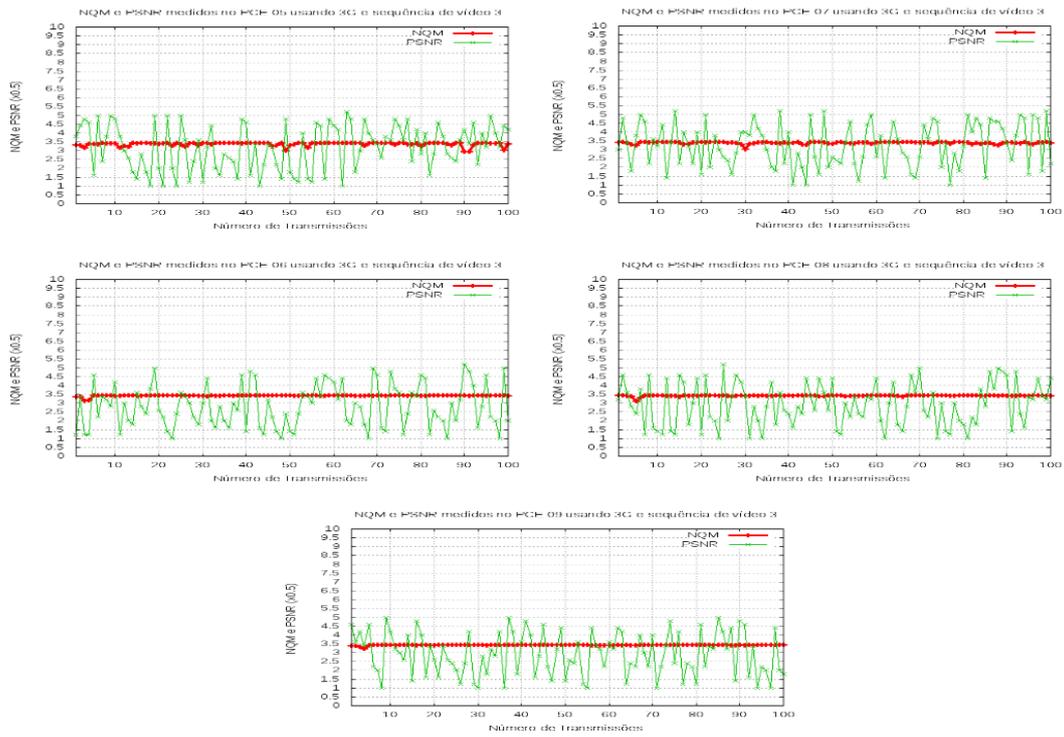


Figura 6.24: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

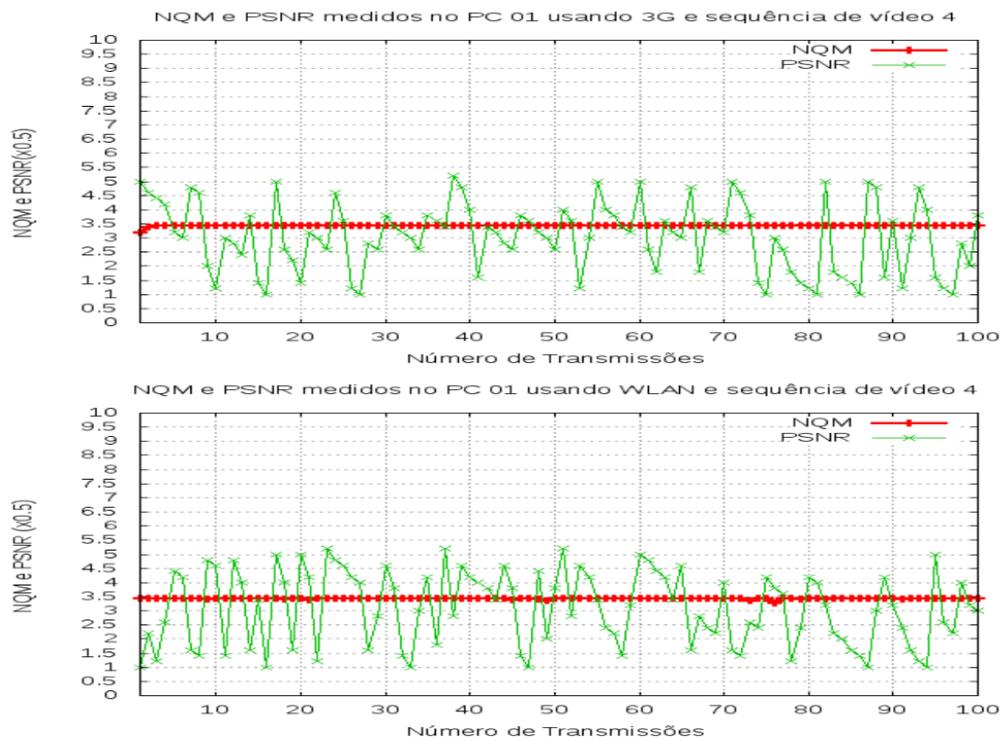


Figura 6.25: NQM x PSNR no PC-01

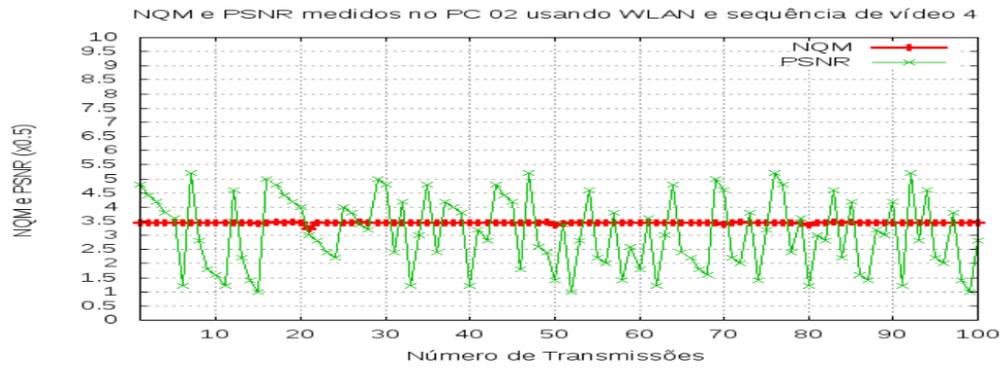
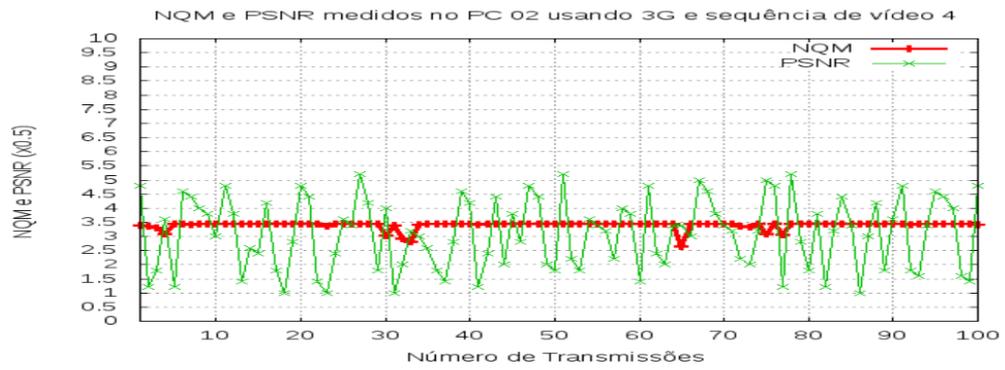


Figura 6.26: NQM x PSNR no PC-02

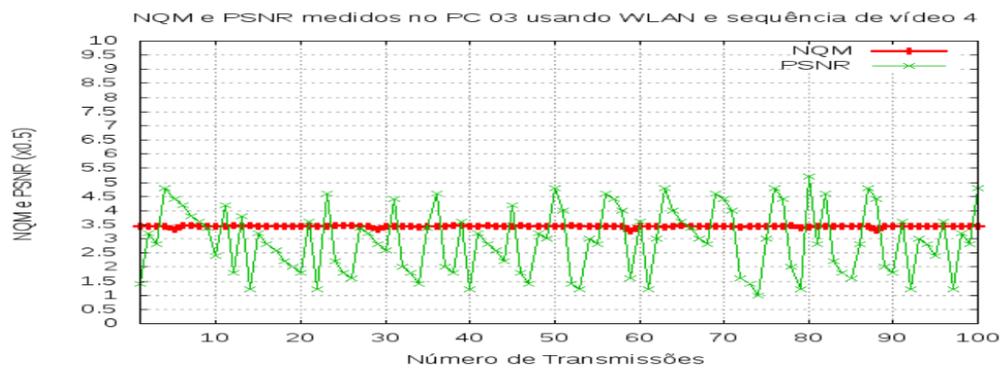
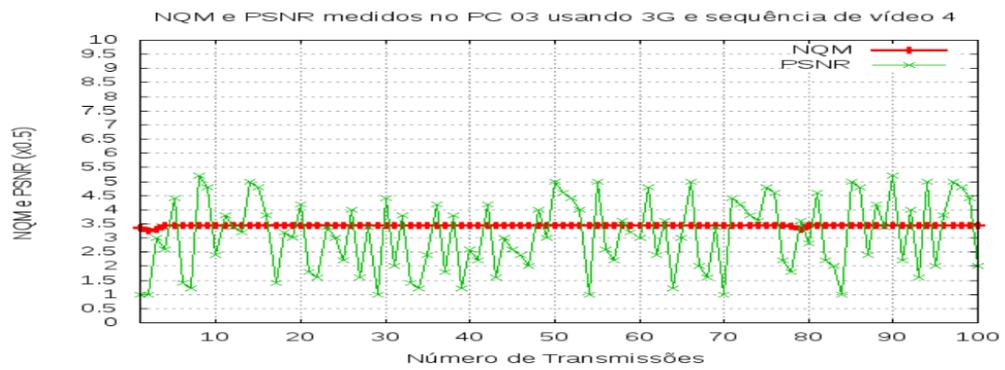


Figura 6.27: NQM x PSNR no PC-03

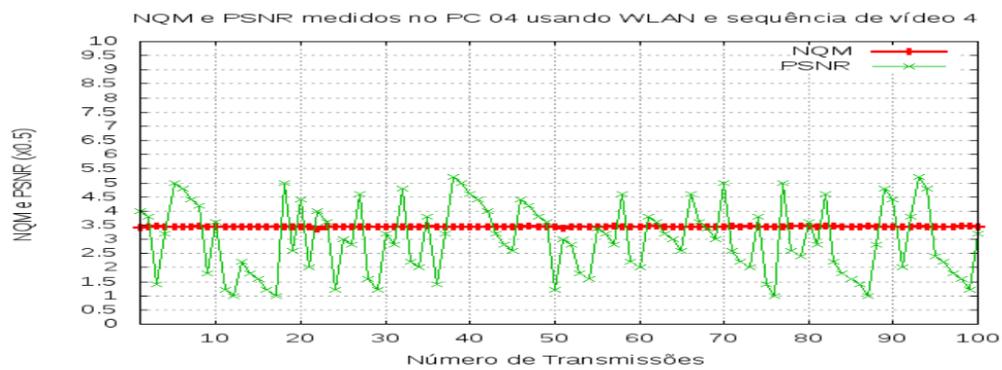
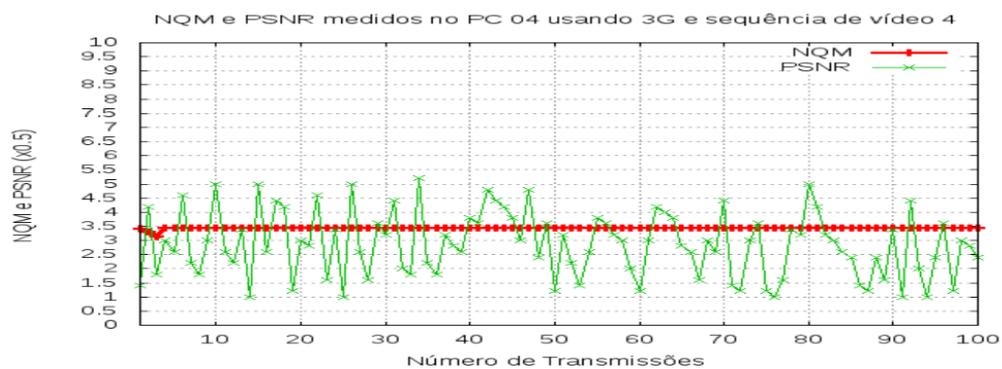


Figura 6.28: NQM x PSNR no PC-04

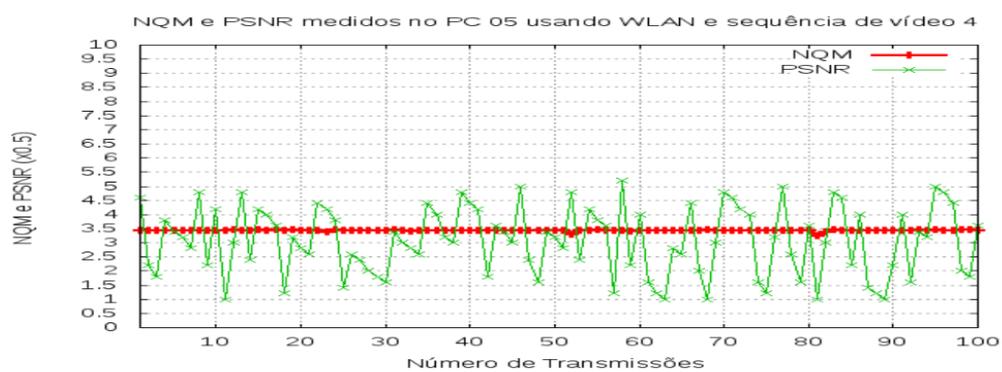
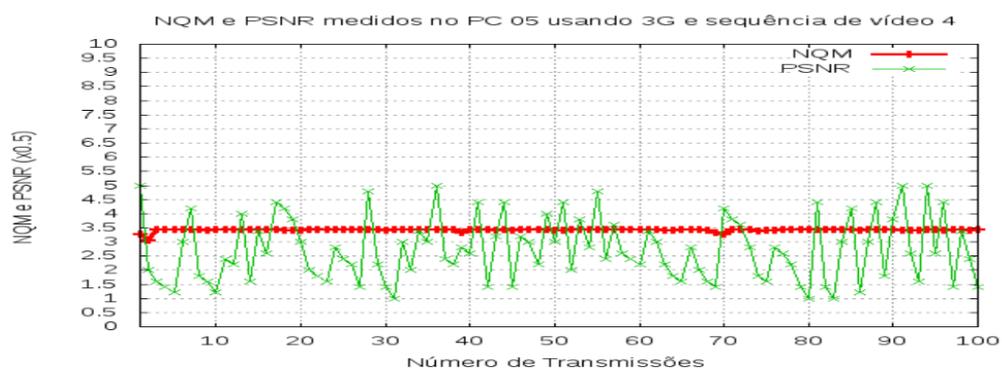


Figura 6.29: NQM x PSNR no PC-05

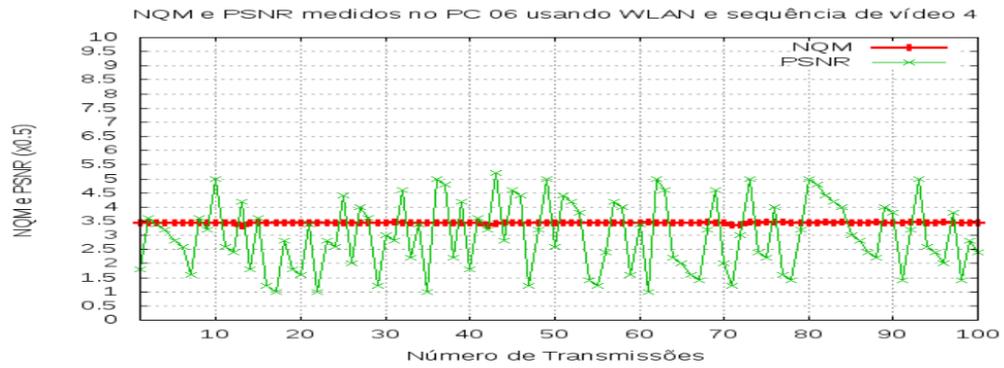
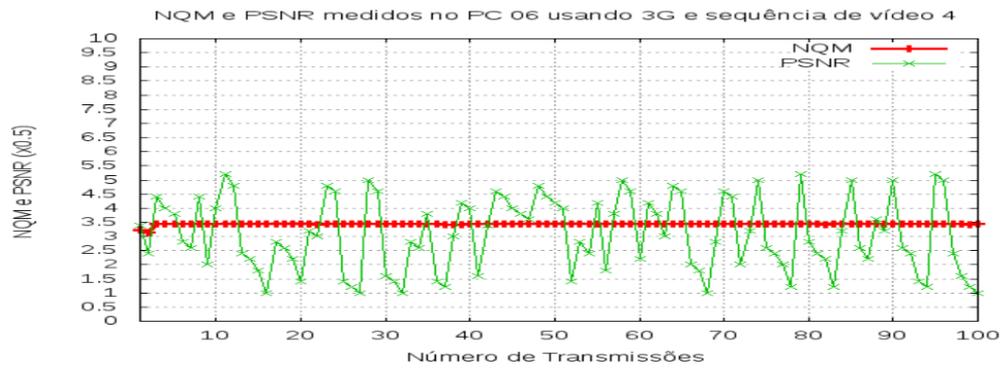


Figura 6.30: NQM x PSNR no PC-06

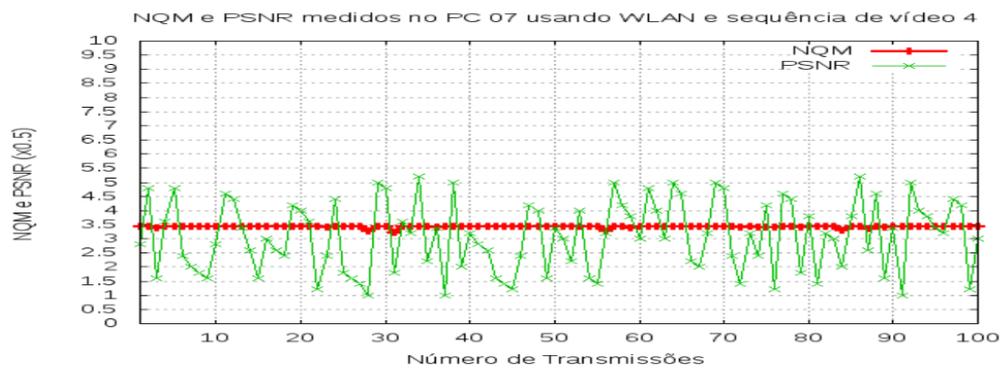
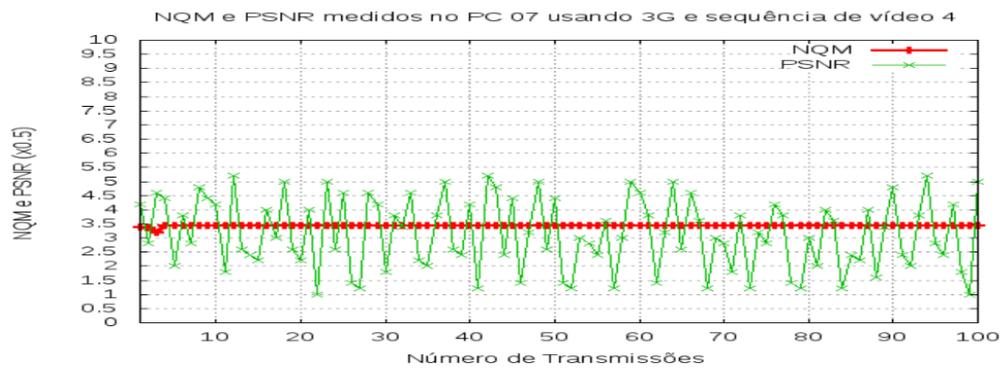


Figura 6.31: NQM x PSNR no PC-07

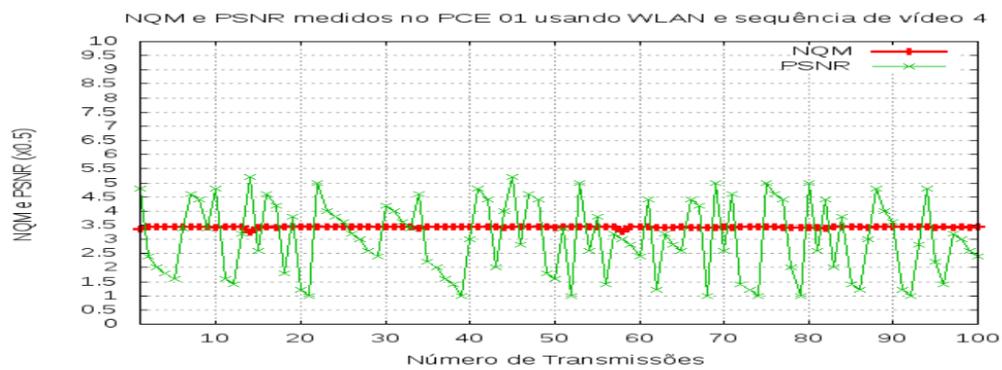
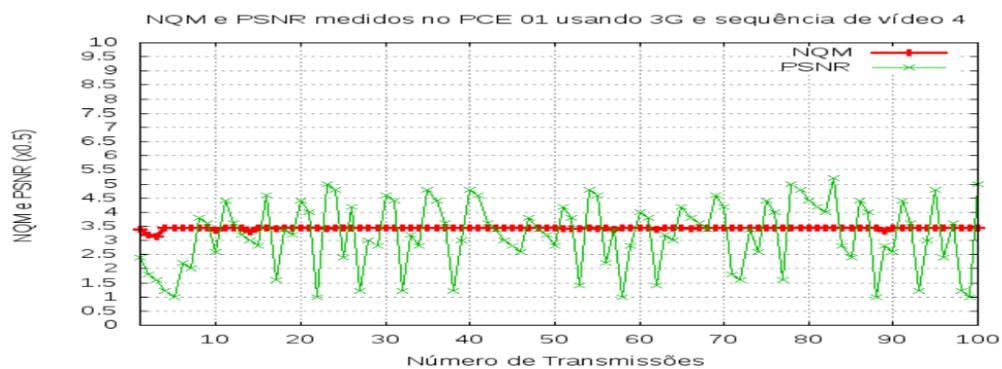


Figura 6.32: NQM x PSNR no PCE-01

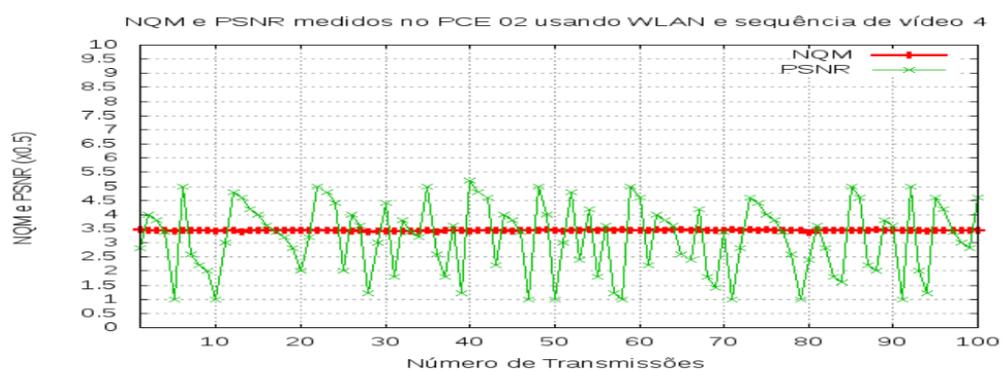
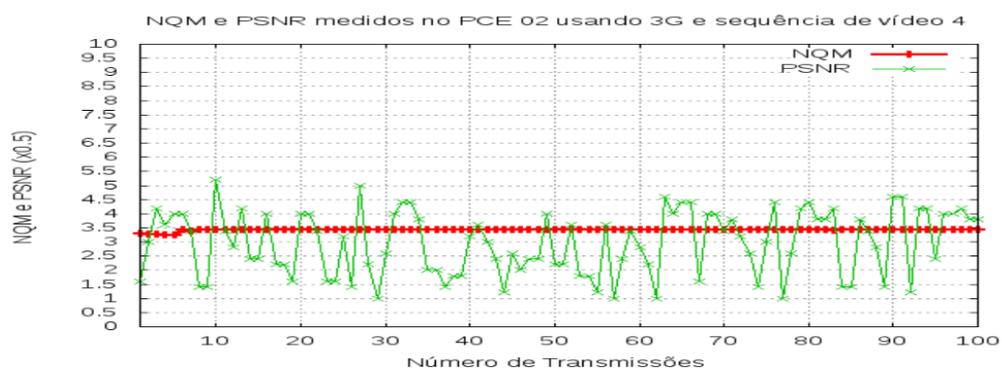


Figura 6.33: NQM x PSNR no PCE-02

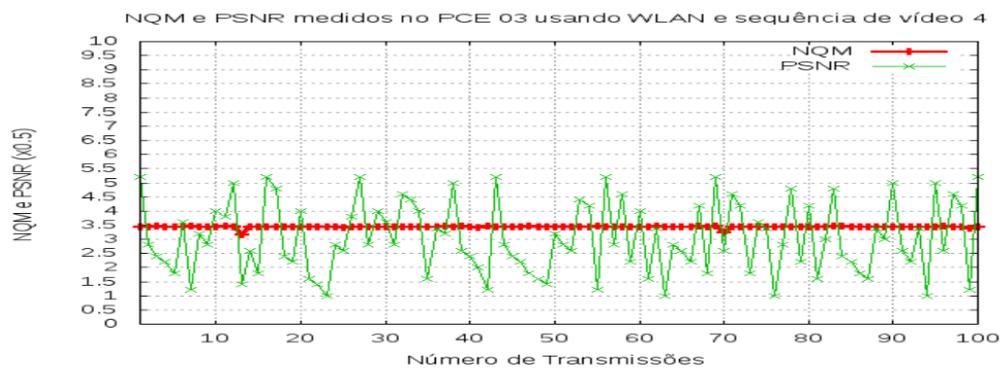
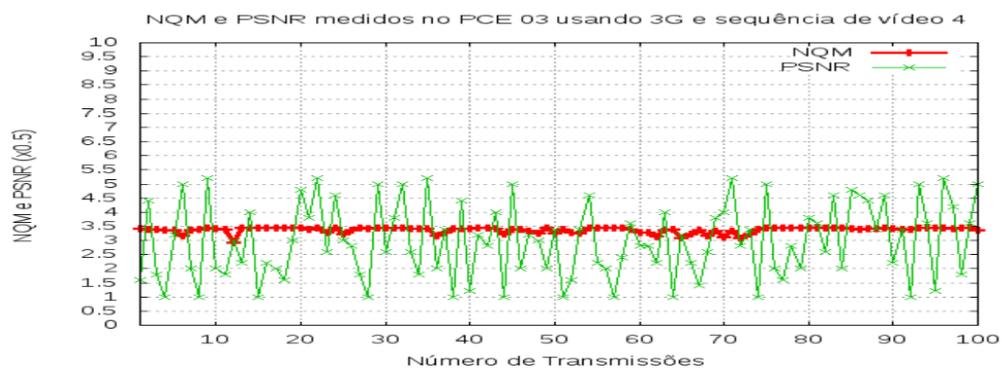


Figura 6.34: NQM x PSNR no PCE-03

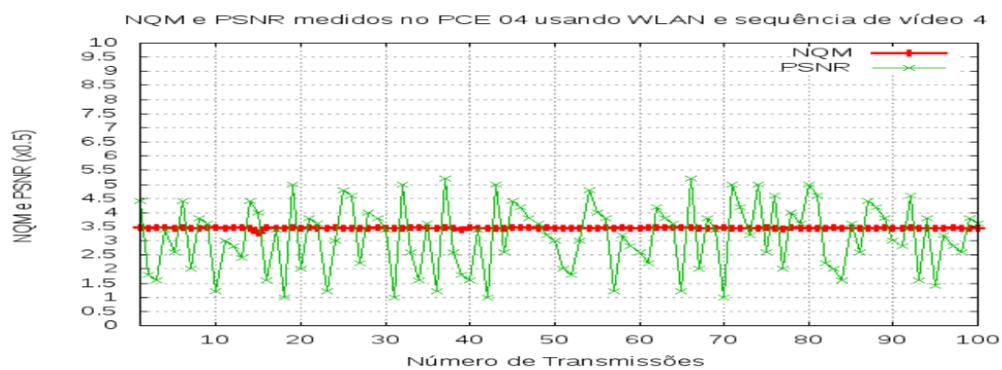
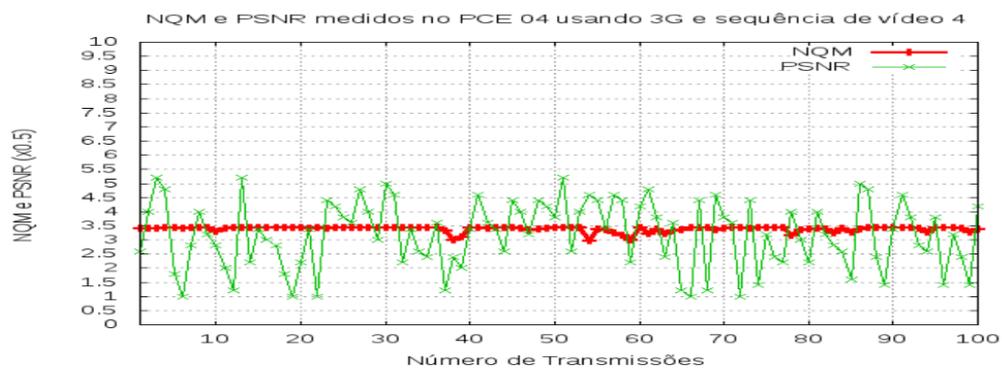


Figura 6.35: NQM x PSNR no PCE-04

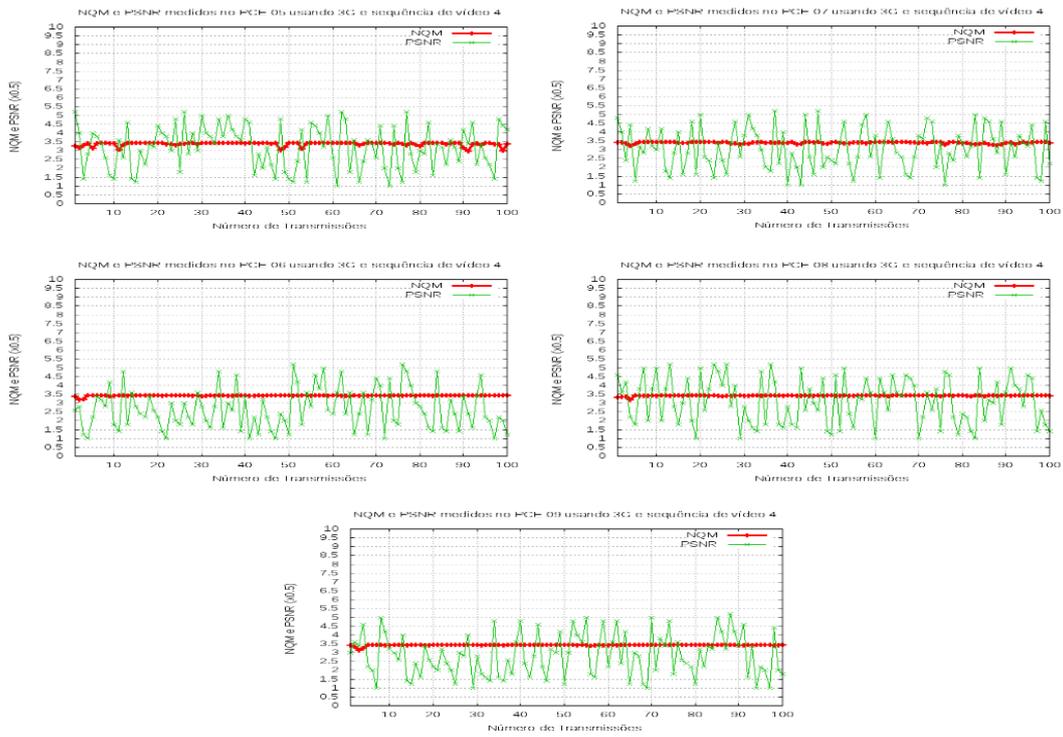


Figura 6.36: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

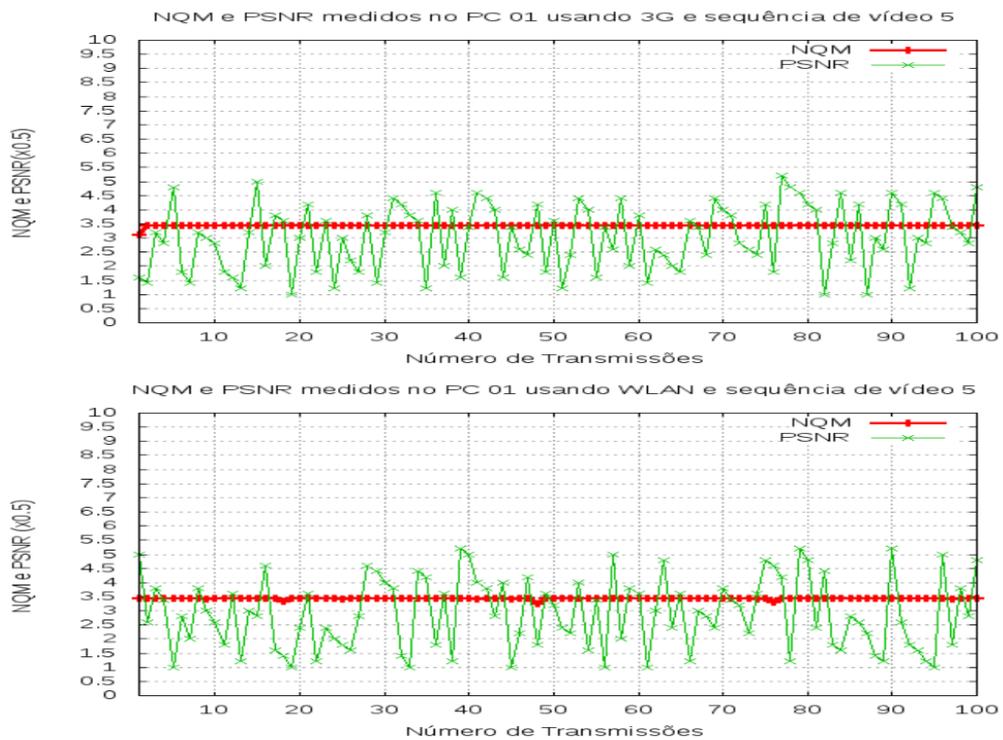


Figura 6.37: NQM x PSNR no PC-01

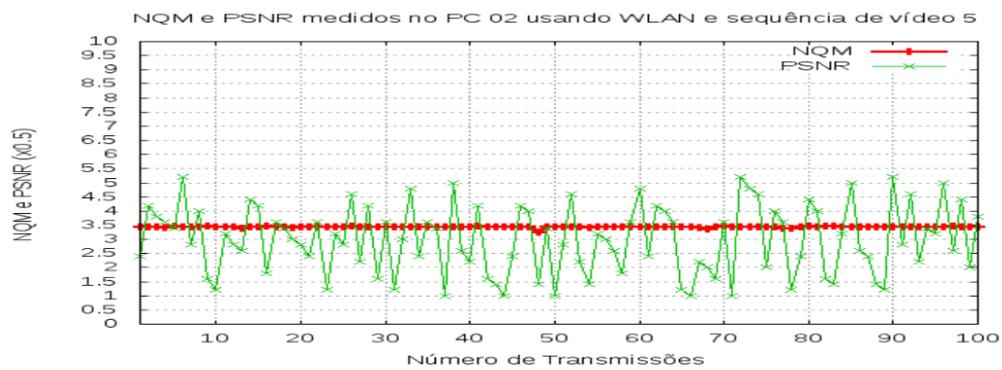
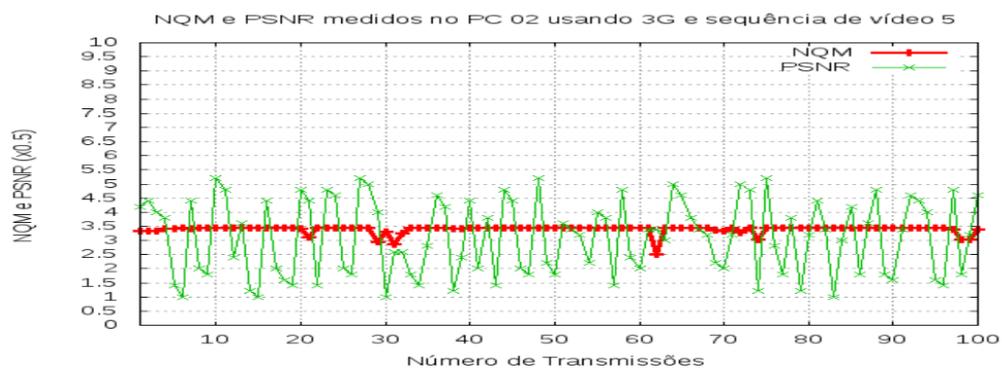


Figura 6.38: NQM x PSNR no PC-02

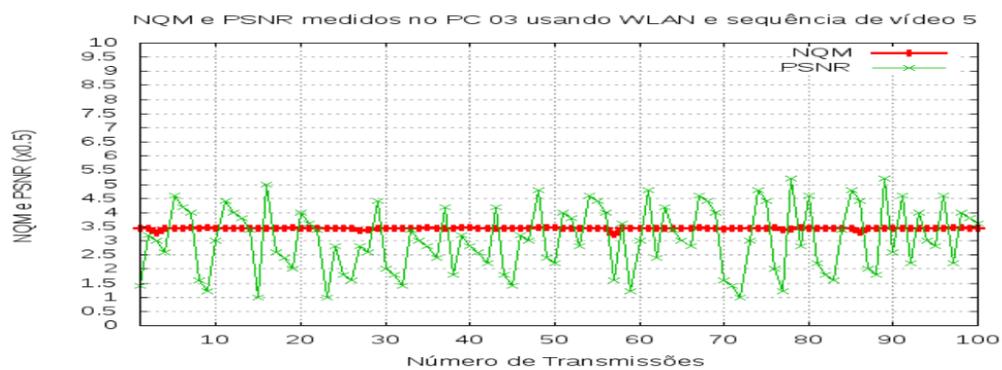
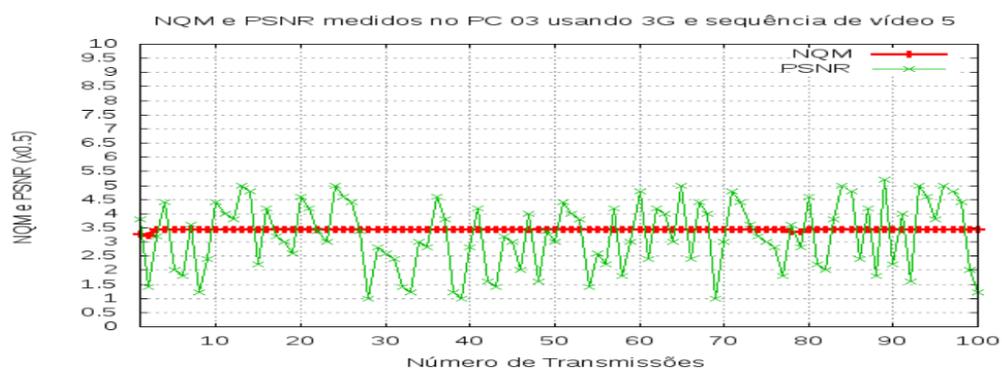


Figura 6.39: NQM x PSNR no PC-03

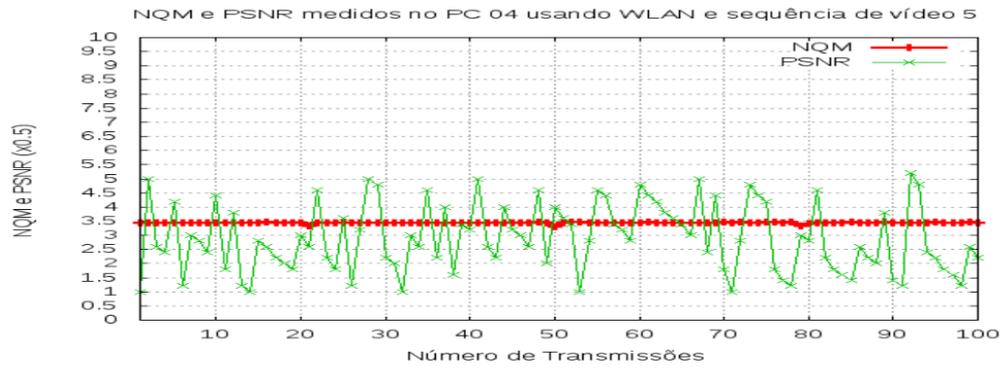
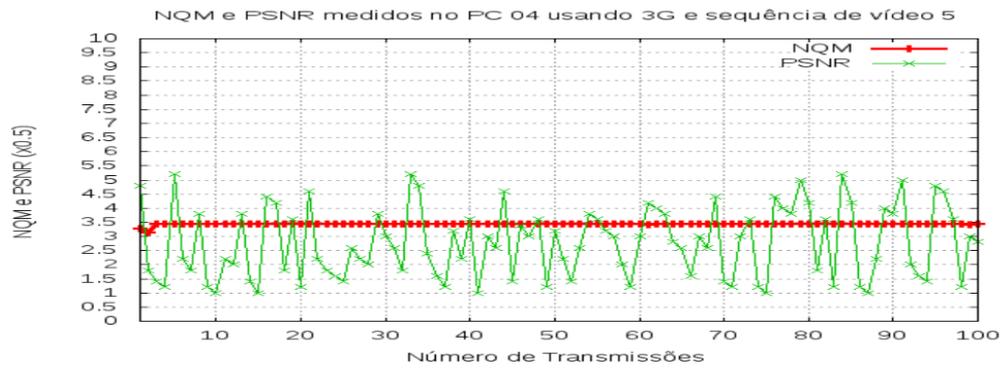


Figura 6.40: NQM x PSNR no PC-04

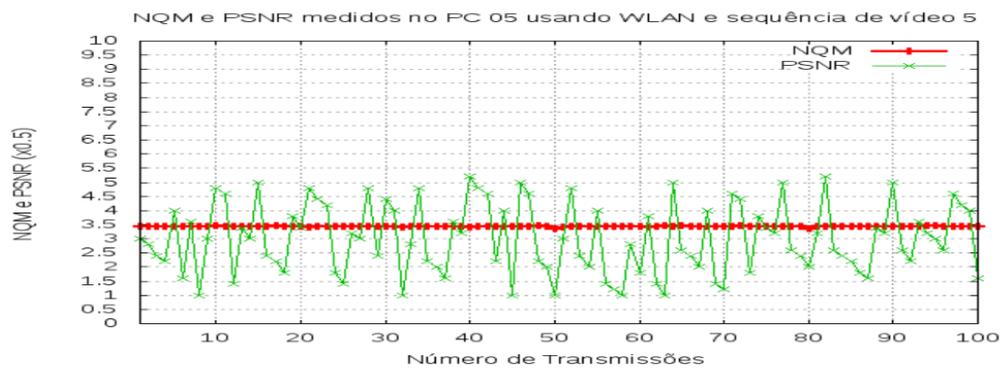
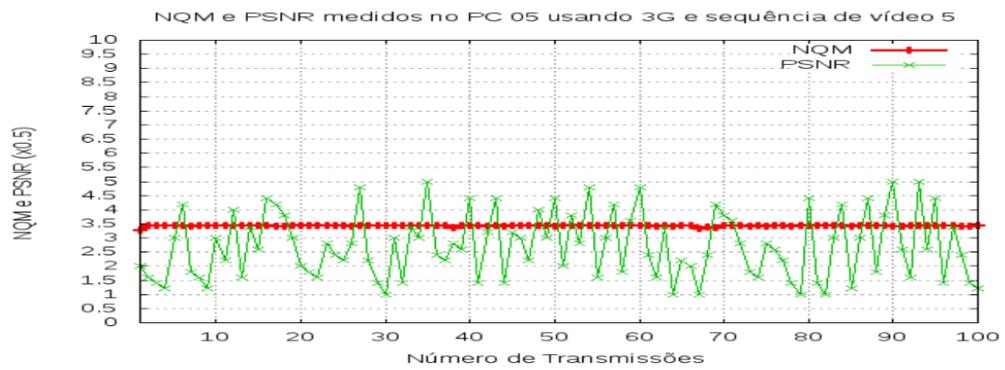


Figura 6.41: NQM x PSNR no PC-05

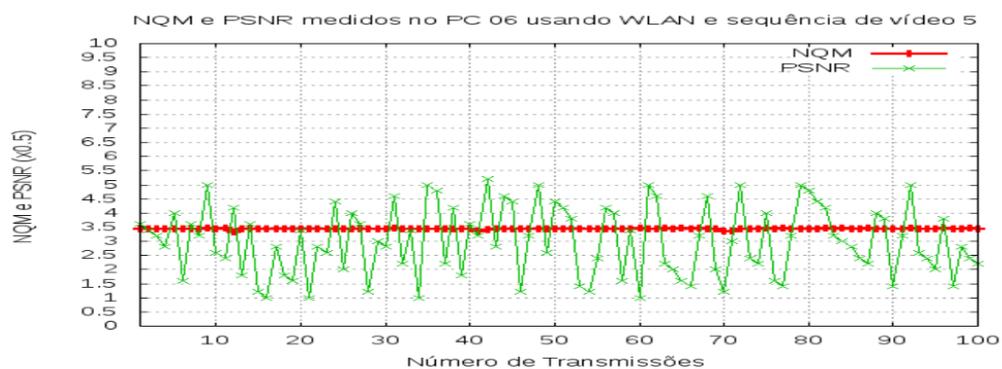
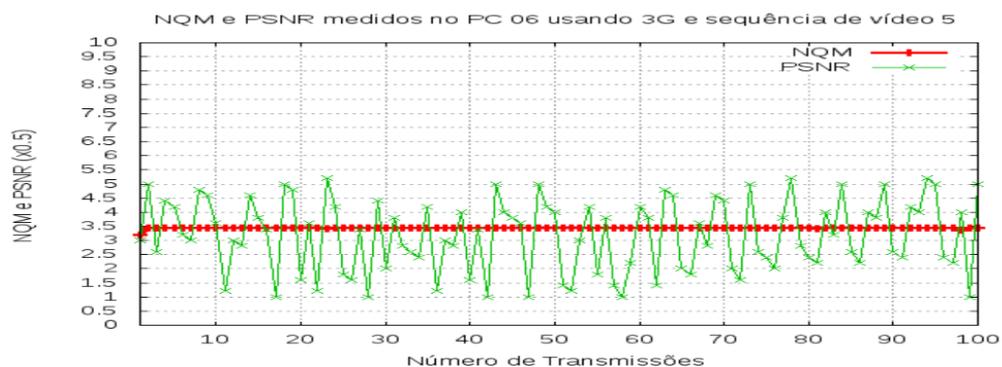


Figura 6.42: NQM x PSNR no PC-06

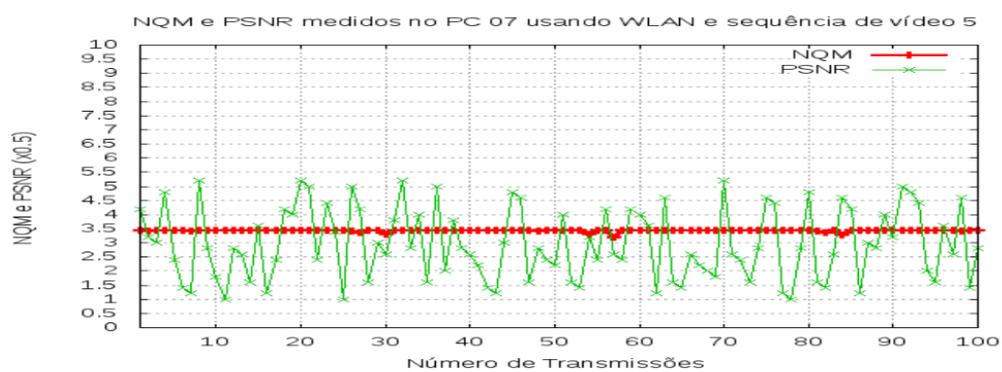
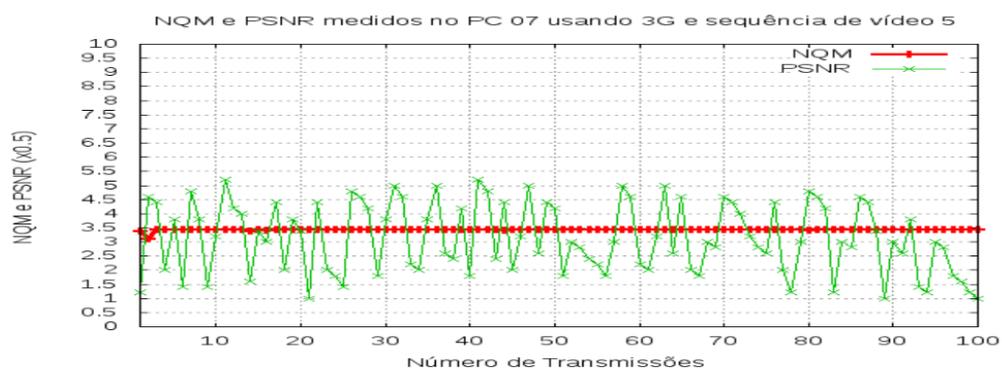


Figura 6.43: NQM x PSNR no PC-07

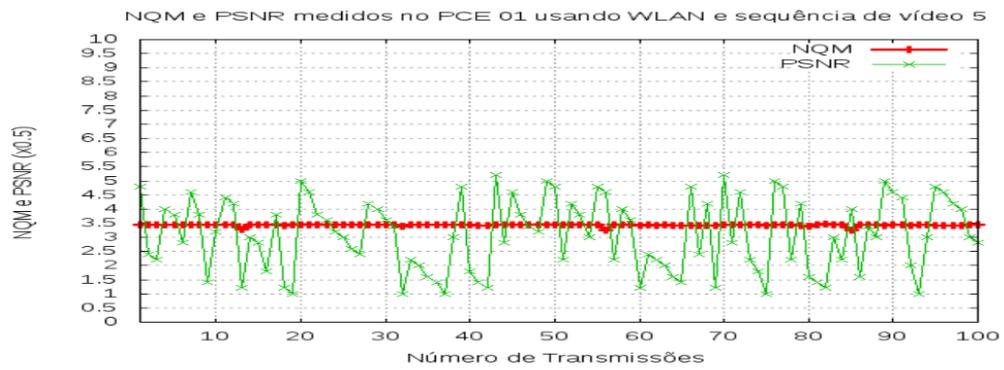
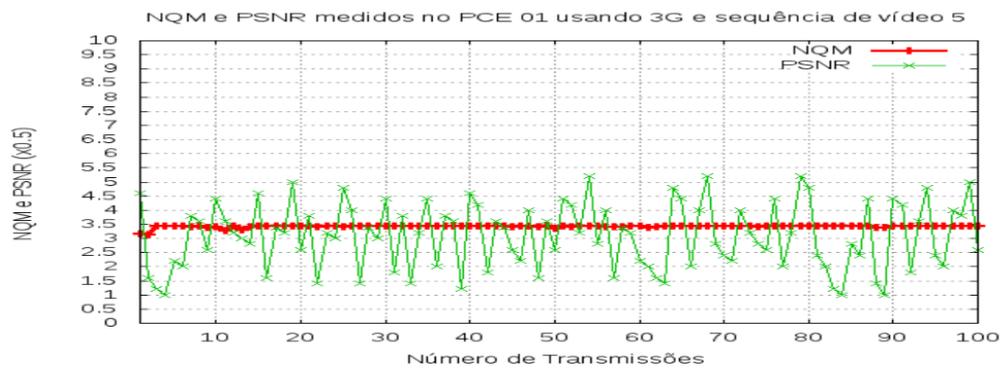


Figura 6.44: NQM x PSNR no PCE-01

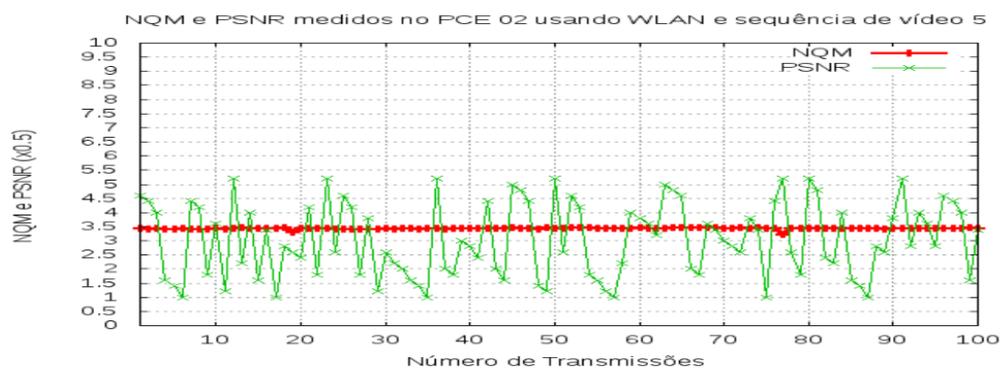
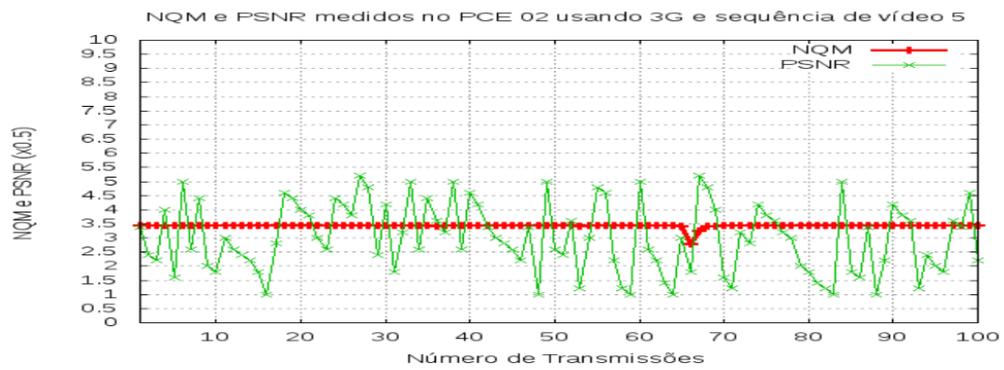


Figura 6.45: NQM x PSNR no PCE-02

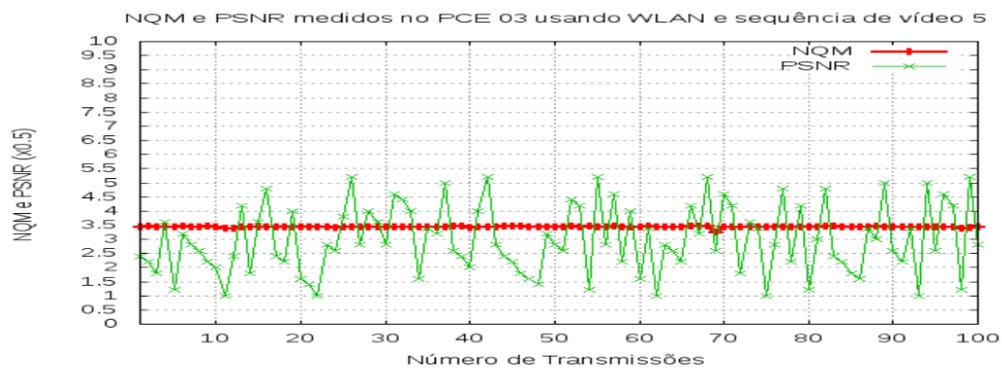
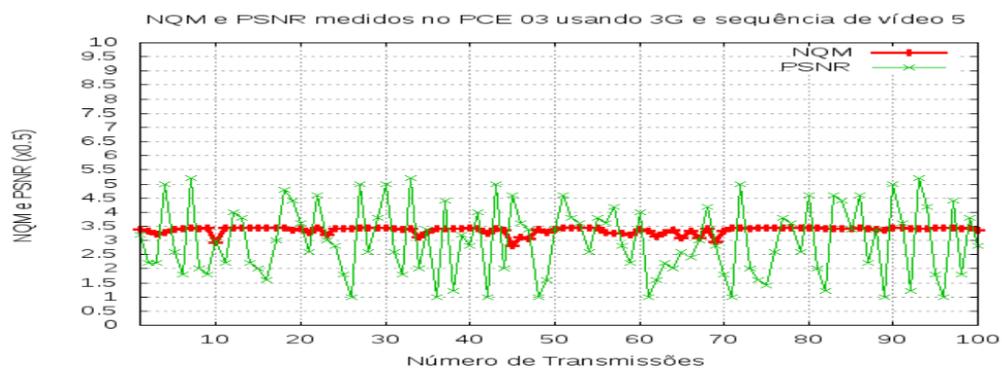


Figura 6.46: NQM x PSNR no PCE-03

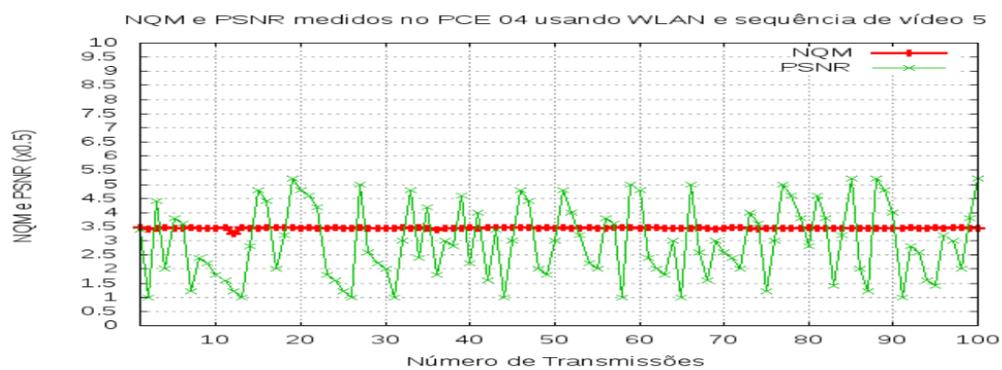
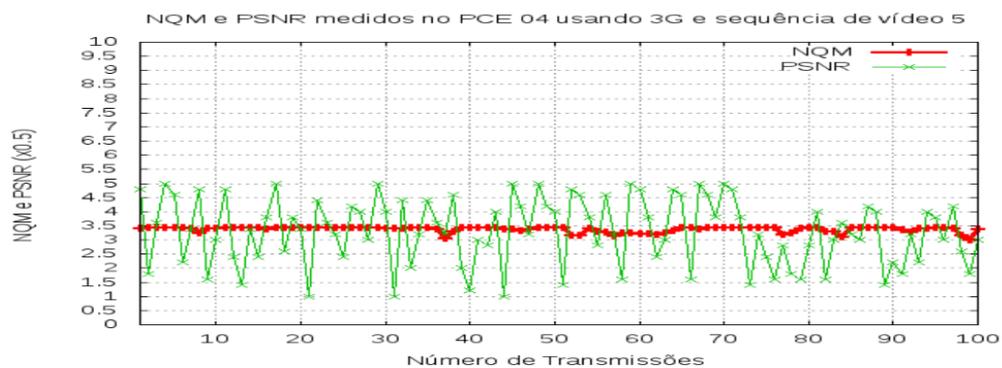


Figura 6.47: NQM x PSNR no PCE-04

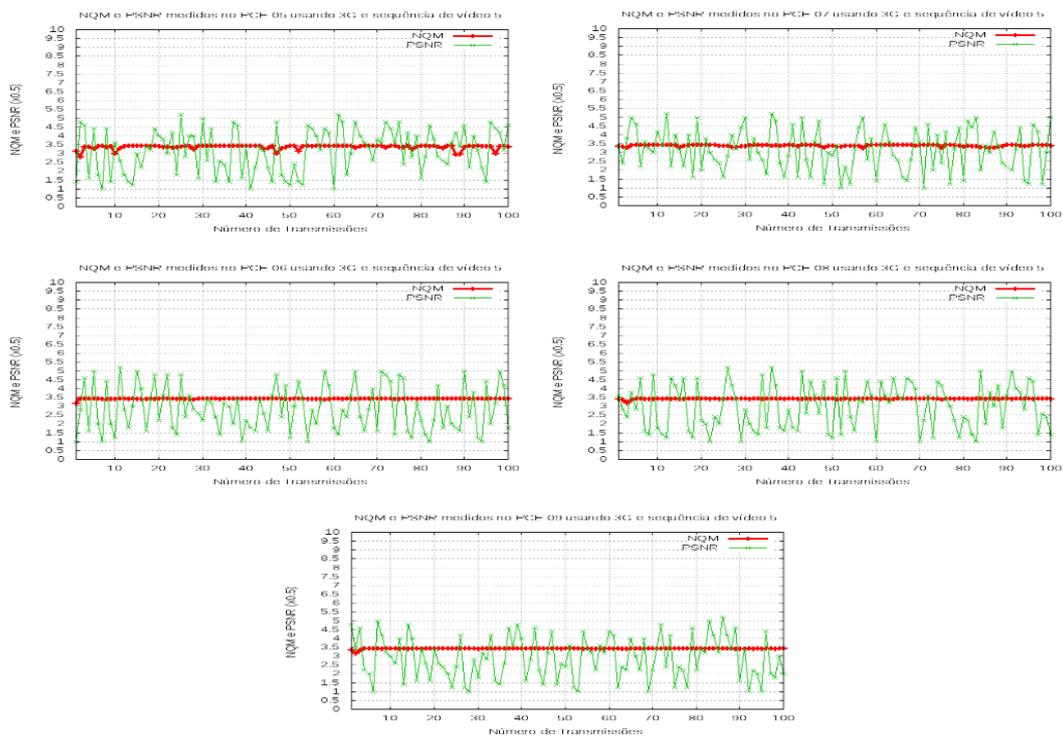


Figura 6.48: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

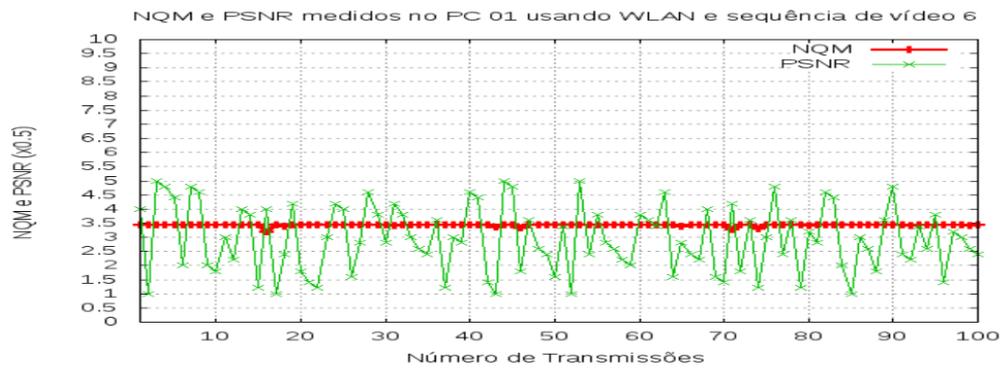
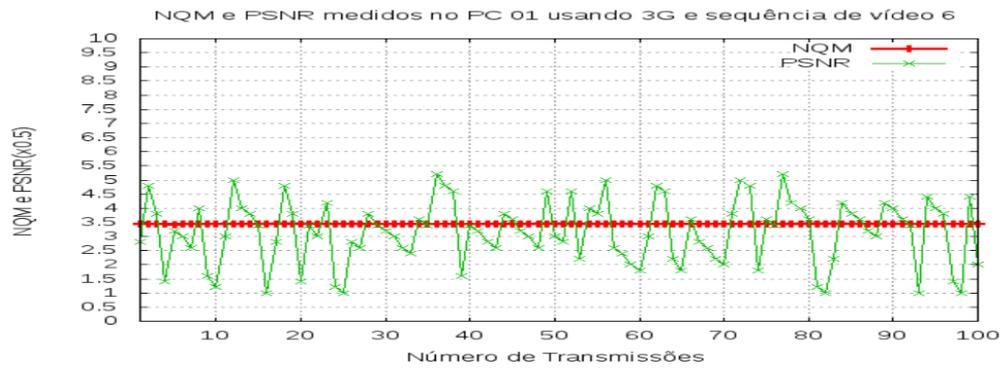


Figura 6.49: NQM x PSNR no PC-01

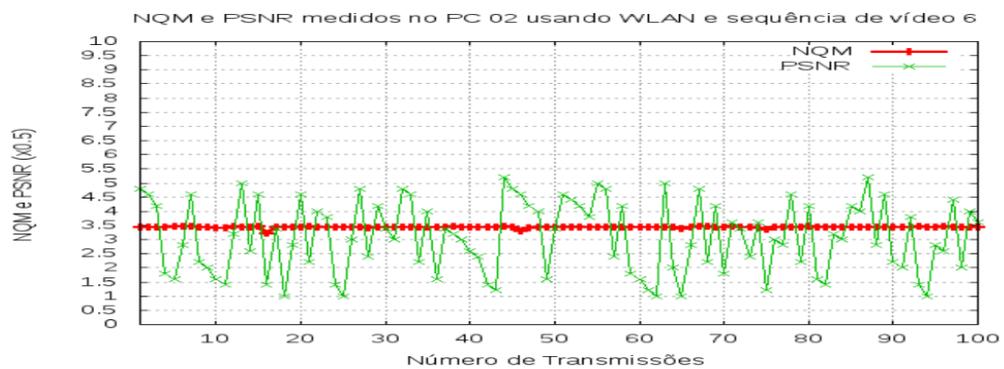
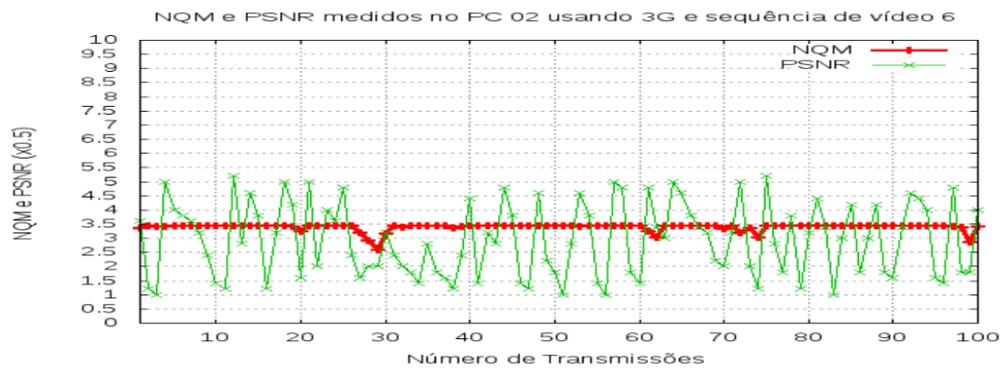


Figura 6.50: NQM x PSNR no PC-02

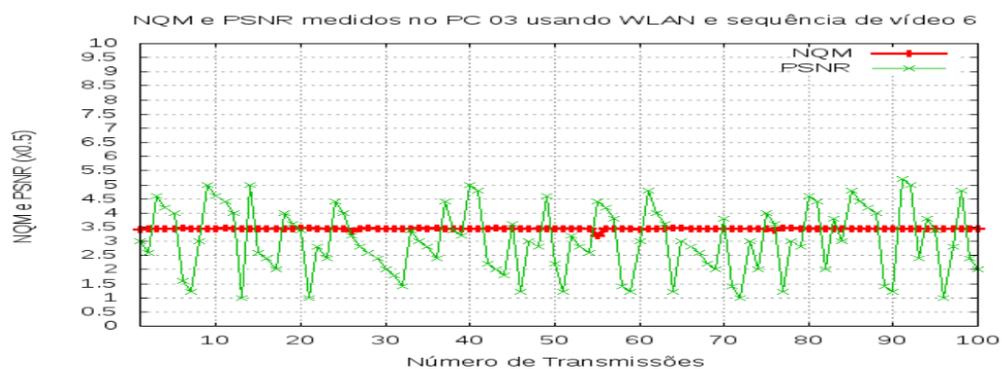
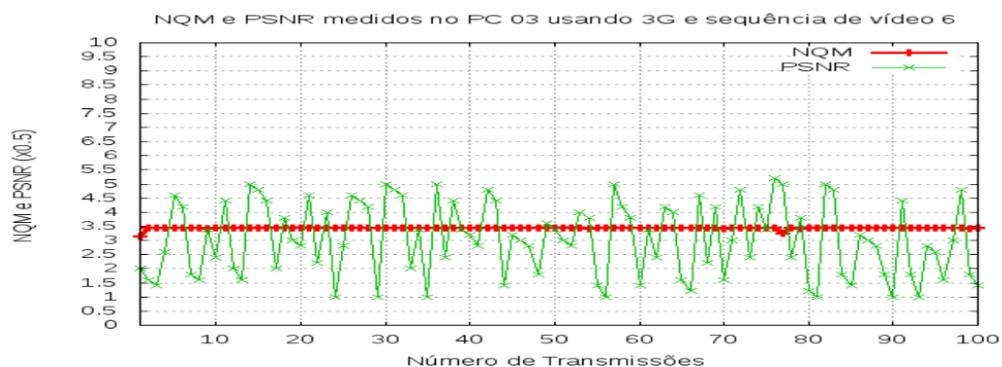


Figura 6.51: NQM x PSNR no PC-03

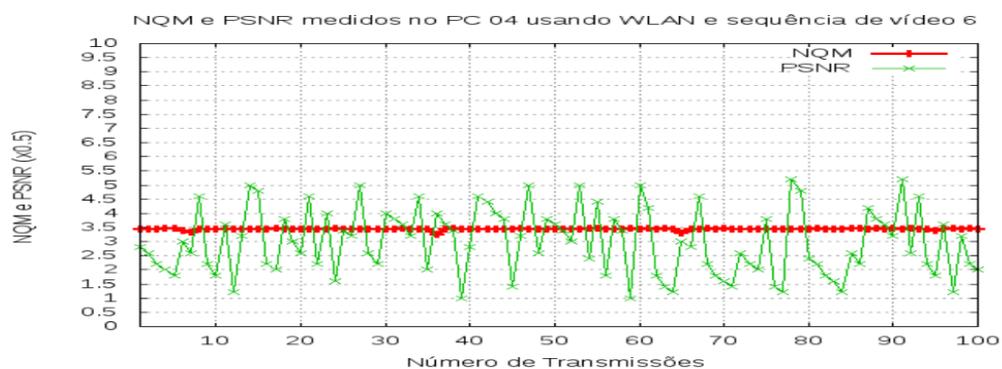
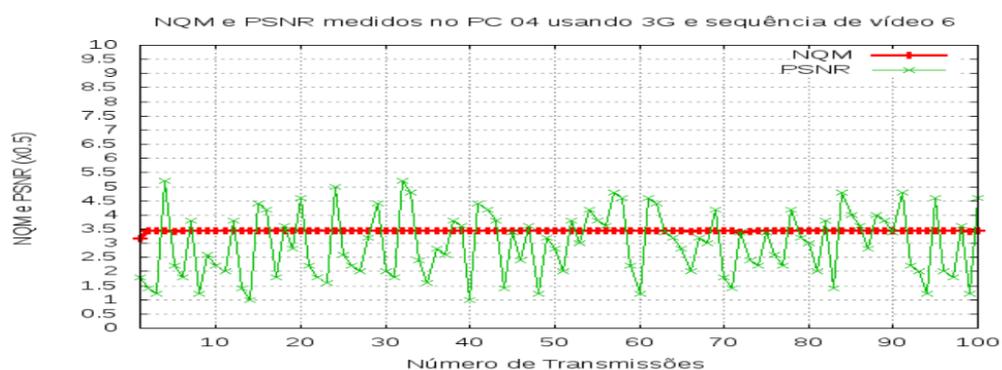


Figura 6.52: NQM x PSNR no PC-04

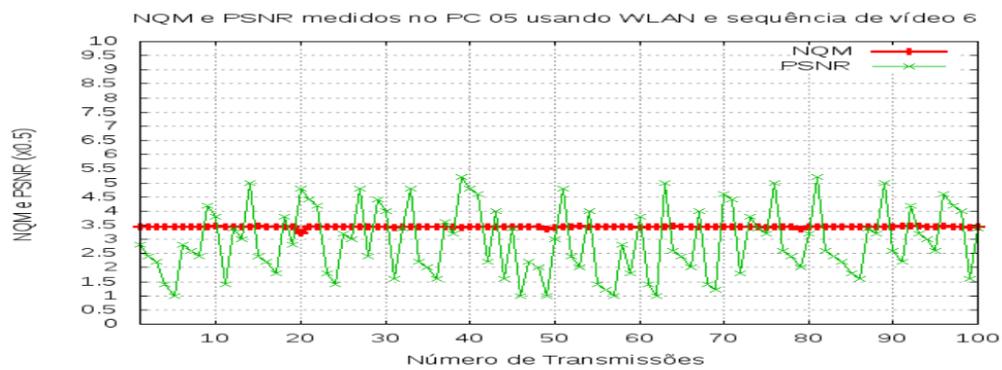
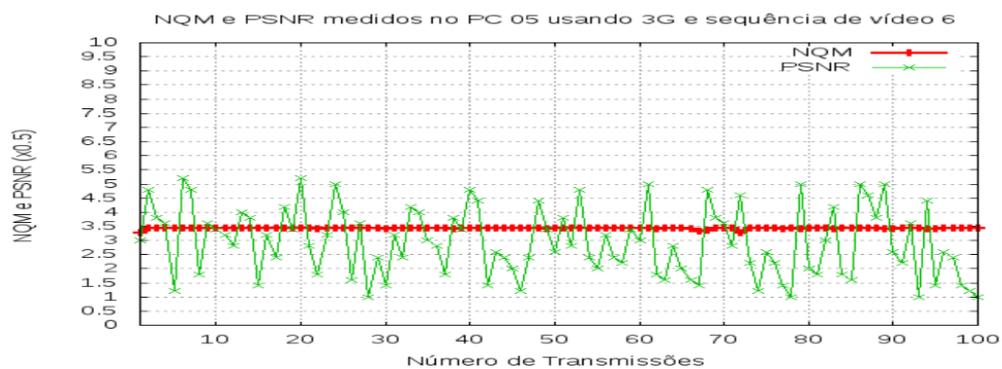


Figura 6.53: NQM x PSNR no PC-05

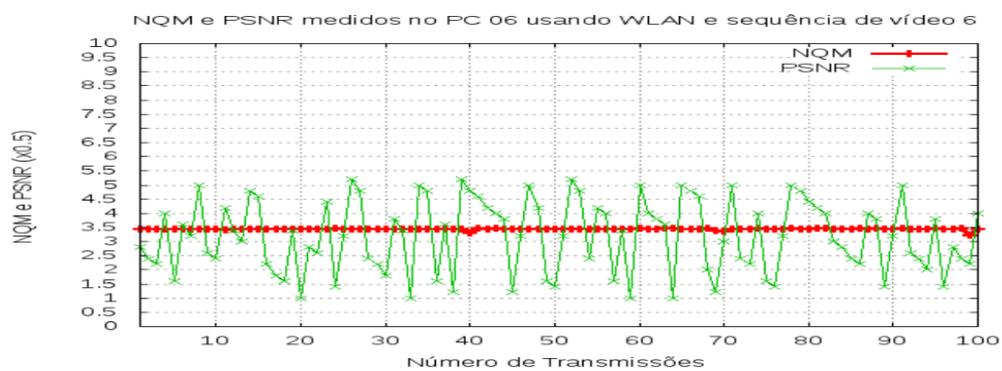
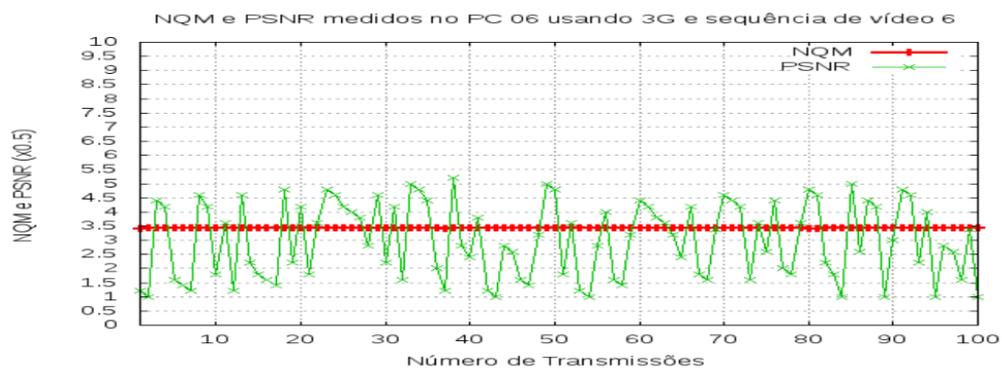


Figura 6.54: NQM x PSNR no PC-06

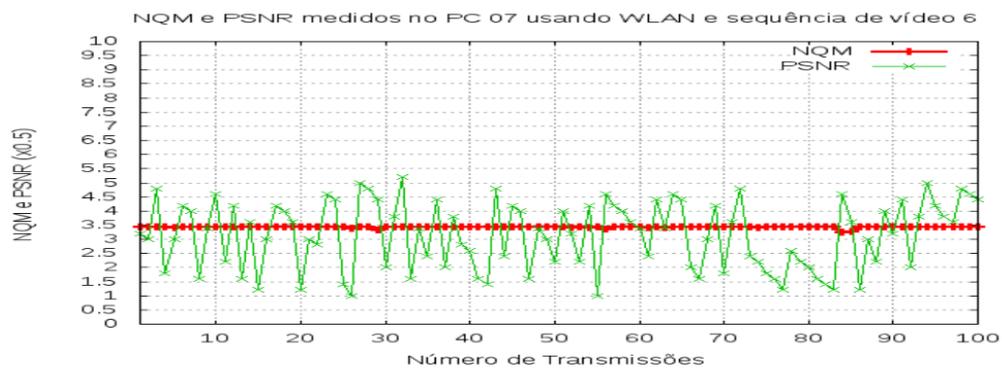
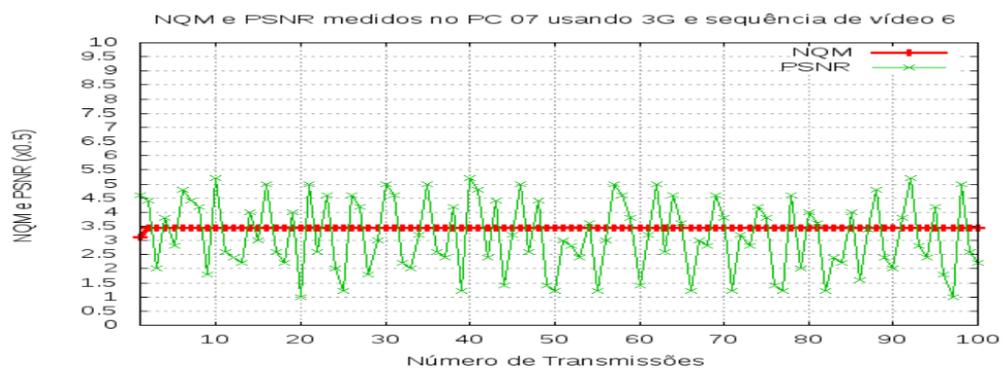


Figura 6.55: NQM x PSNR no PC-07

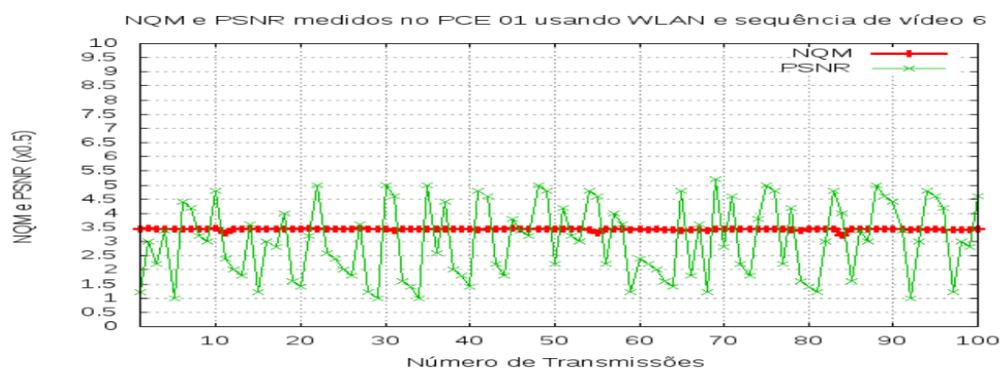
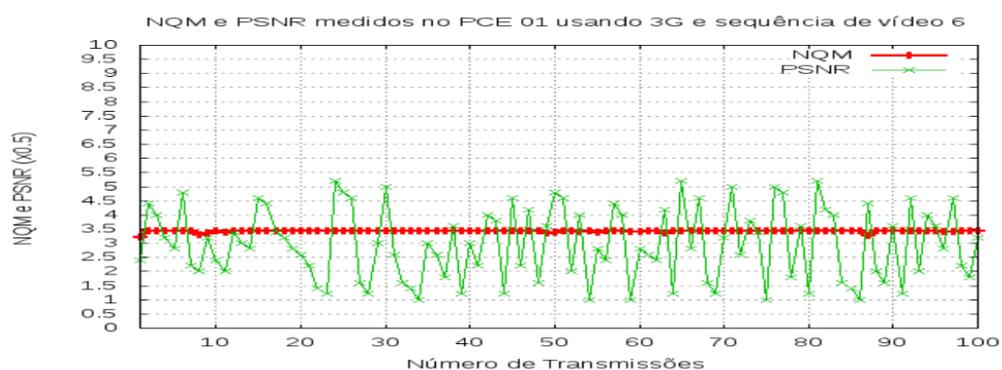


Figura 6.56: NQM x PSNR no PCE-01

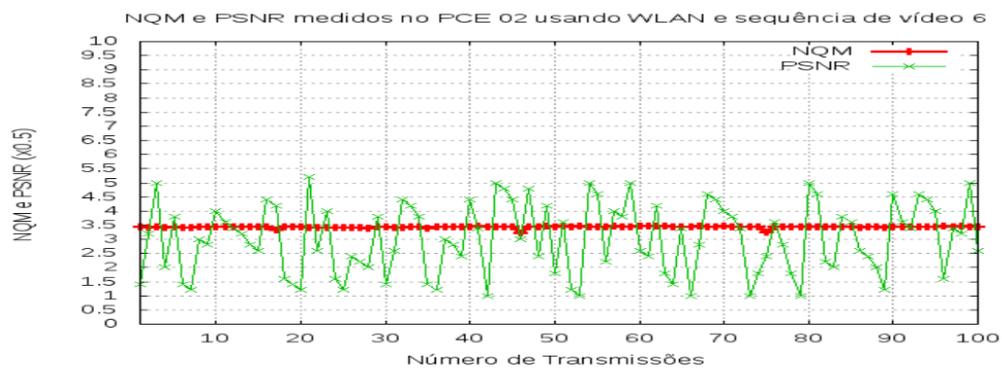
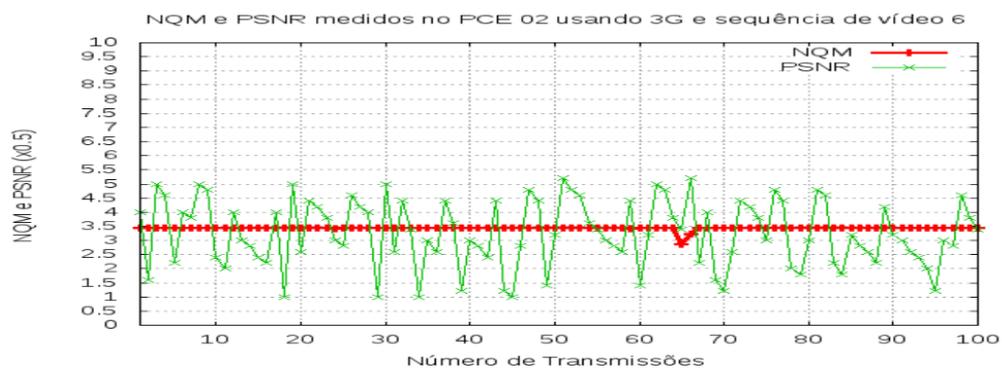


Figura 6.57: NQM x PSNR no PCE-02

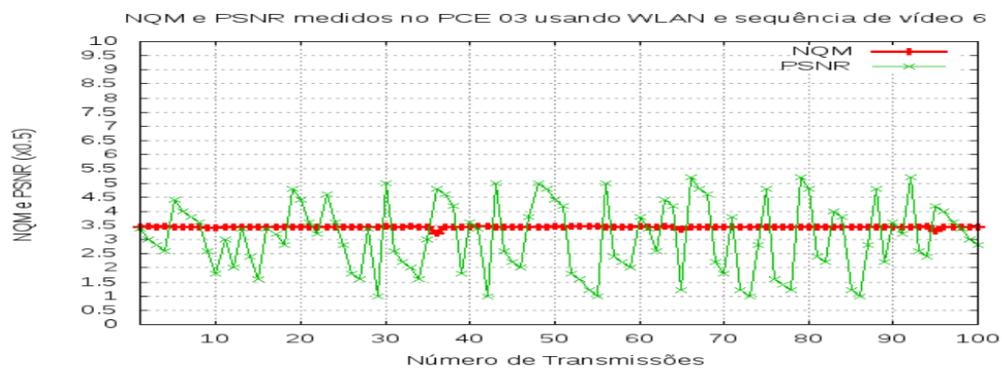
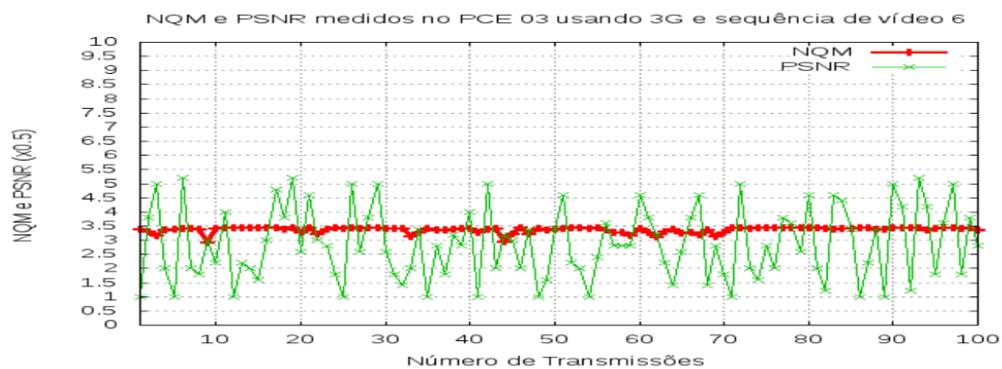


Figura 6.58: NQM x PSNR no PCE-03

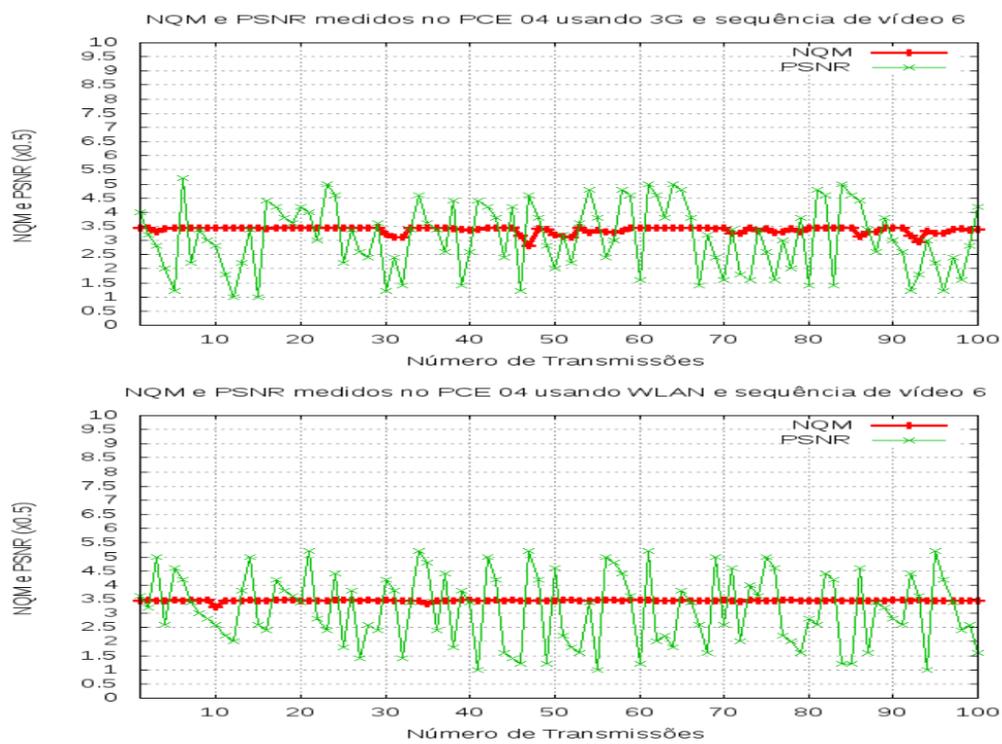


Figura 6.59: NQM x PSNR no PCE-04

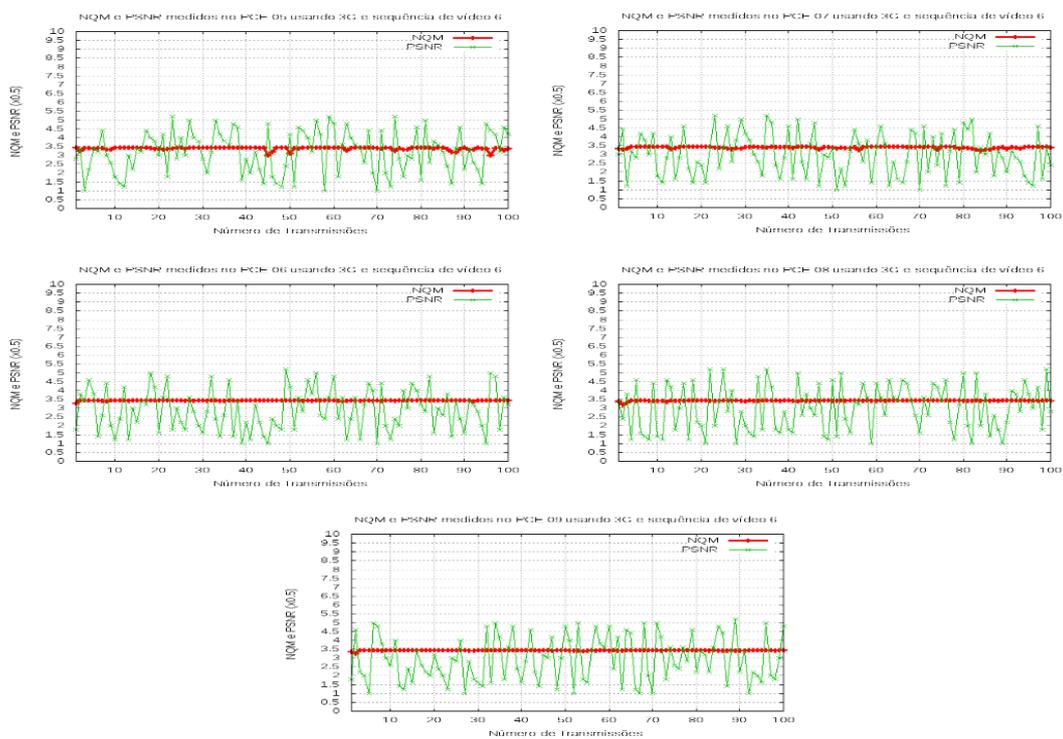


Figura 6.60: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

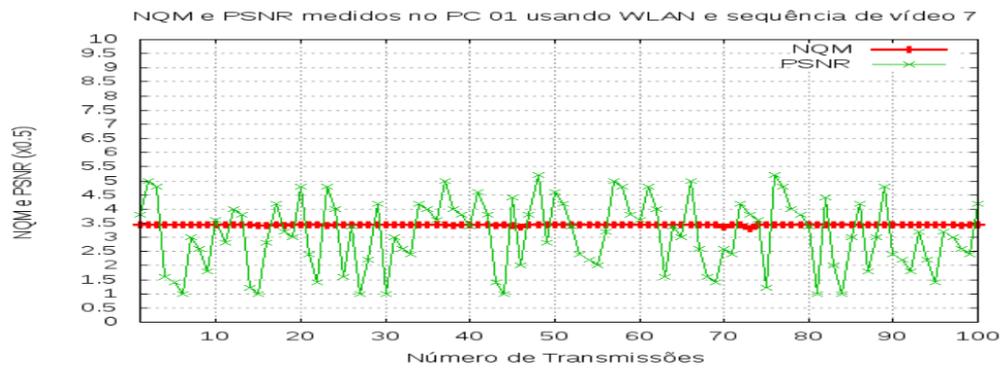
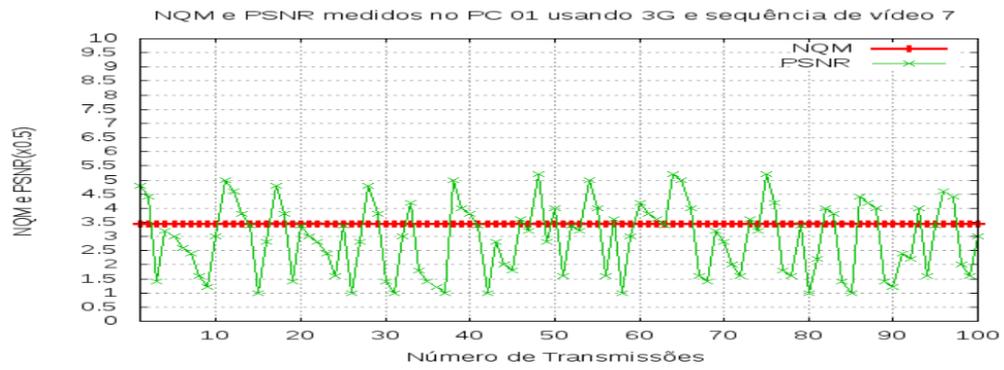


Figura 6.61: NQM x PSNR no PC-01

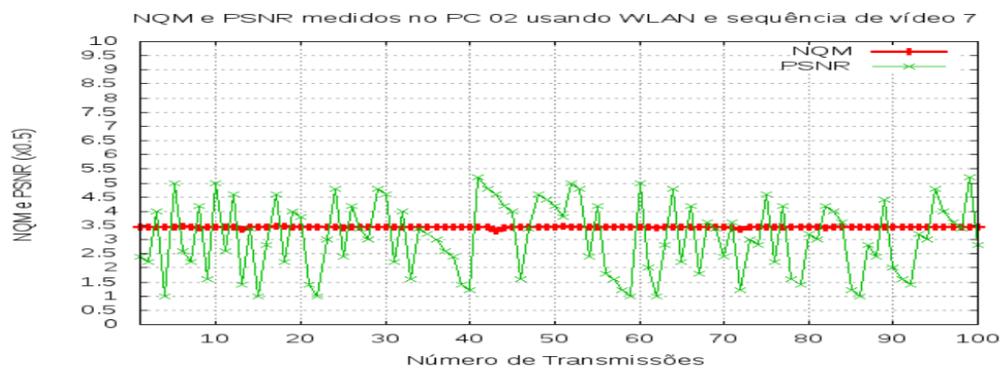
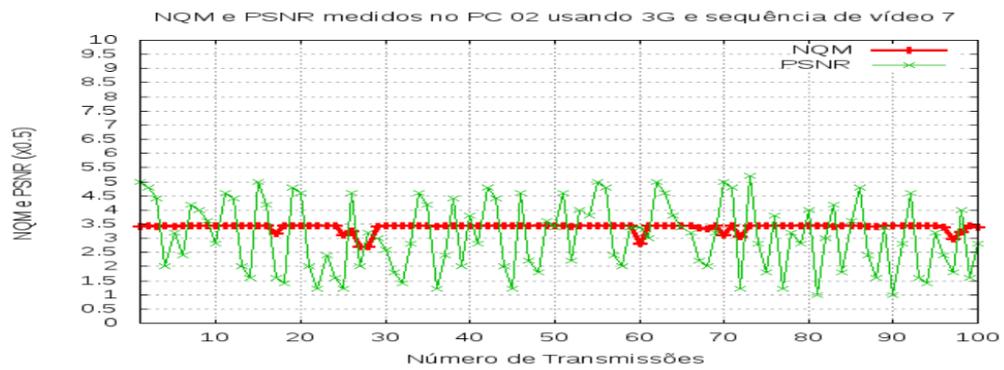


Figura 6.62: NQM x PSNR no PC-02

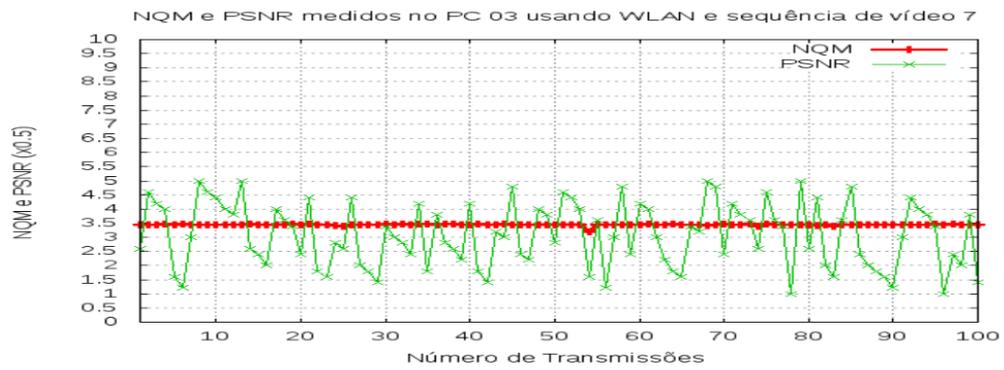
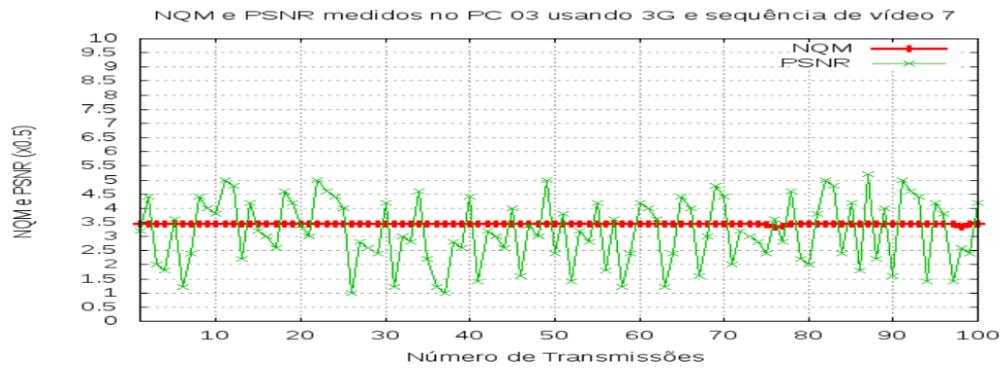


Figura 6.63: NQM x PSNR no PC-03

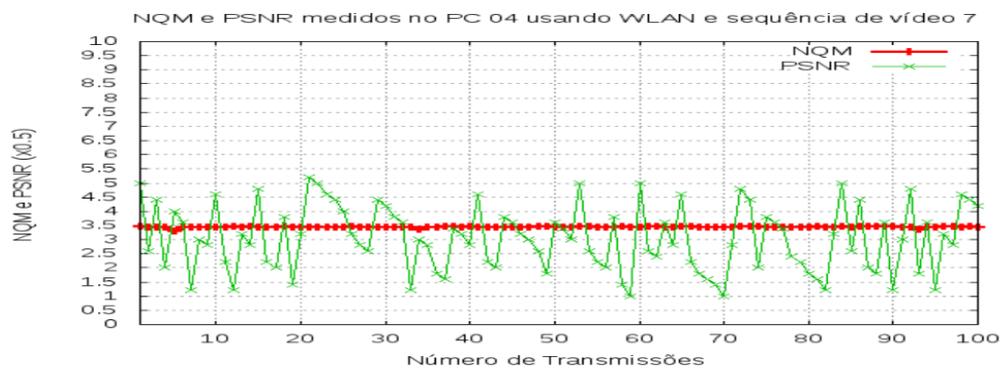
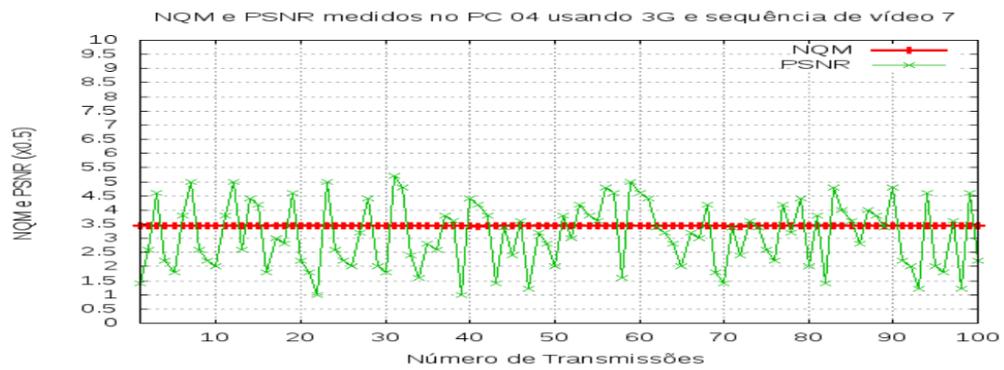


Figura 6.64: NQM x PSNR no PC-04

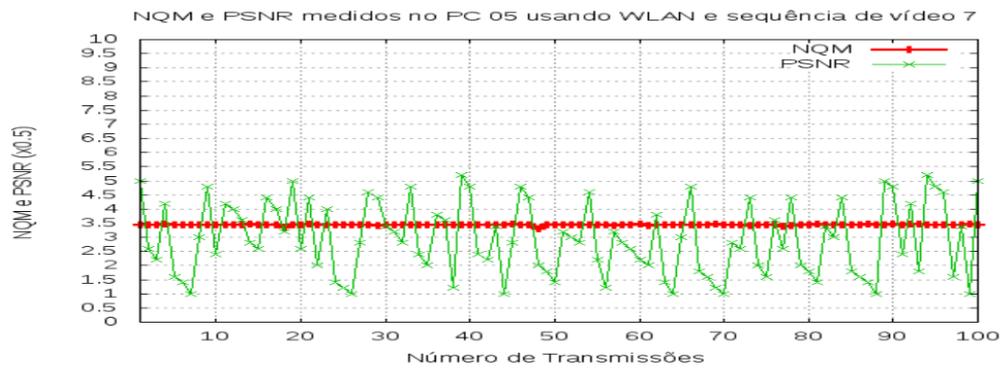
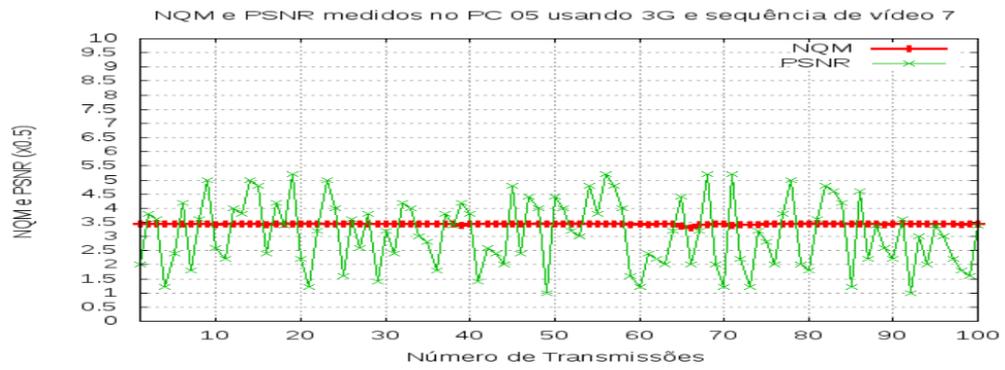


Figura 6.65: NQM x PSNR no PC-05

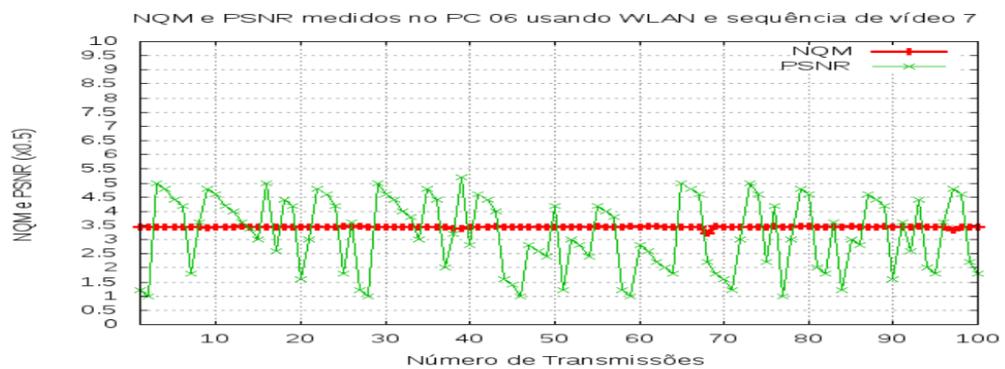
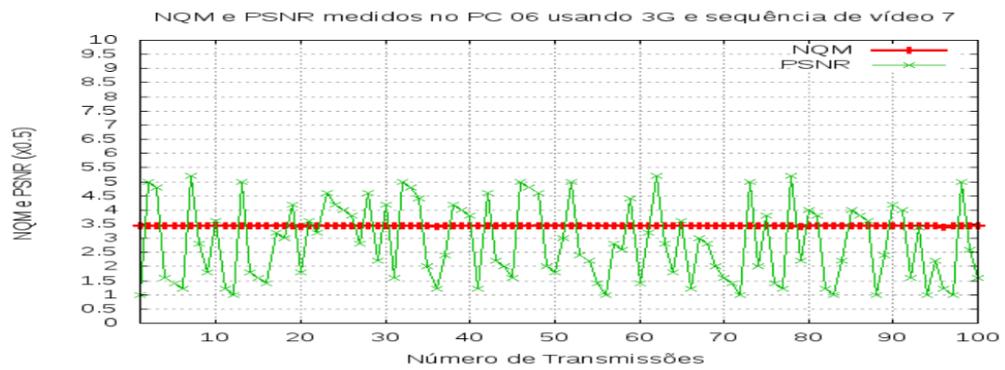


Figura 6.66: NQM x PSNR no PC-06

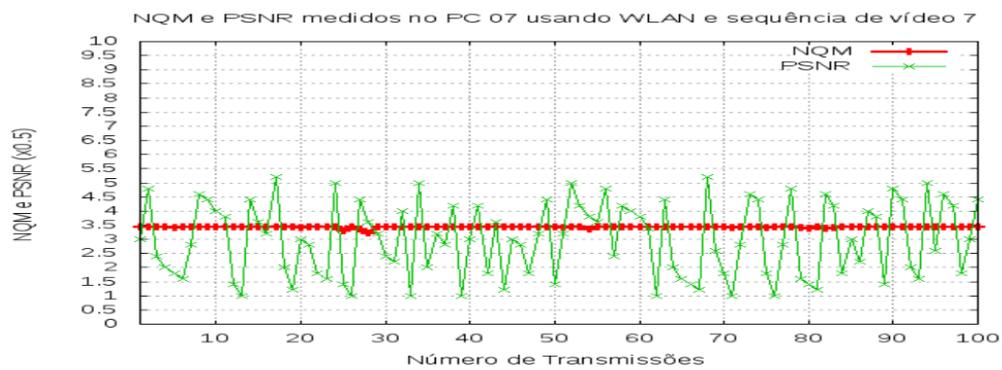
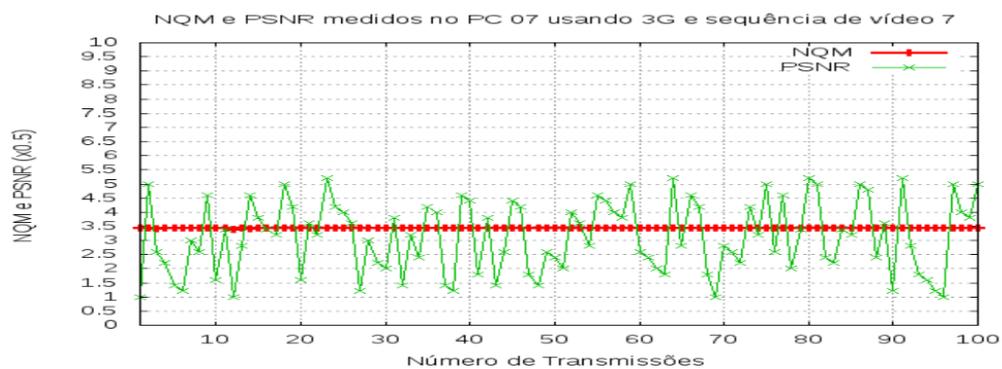


Figura 6.67: NQM x PSNR no PC-07

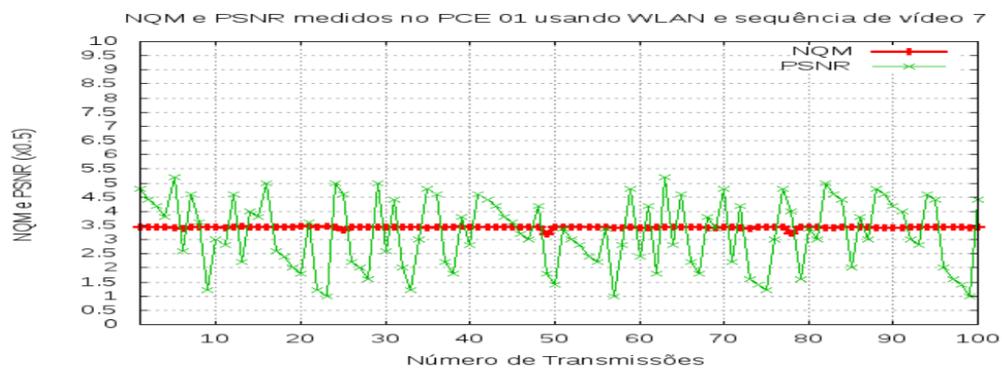
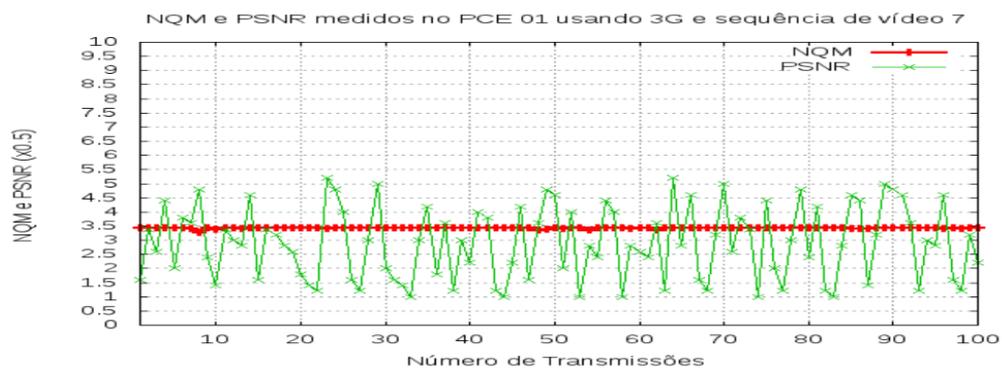


Figura 6.68: NQM x PSNR no PCE-01

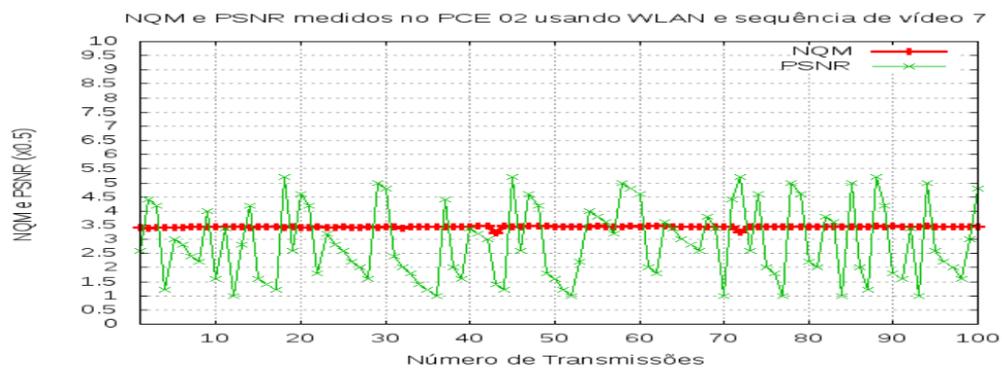
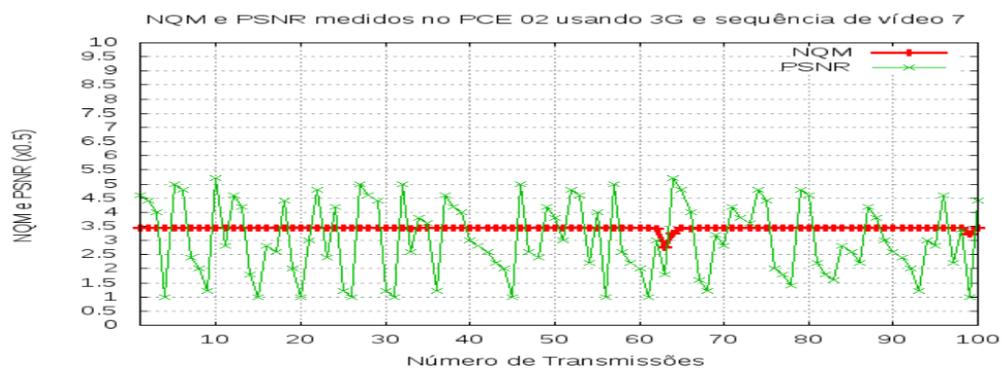


Figura 6.69: NQM x PSNR no PCE-02

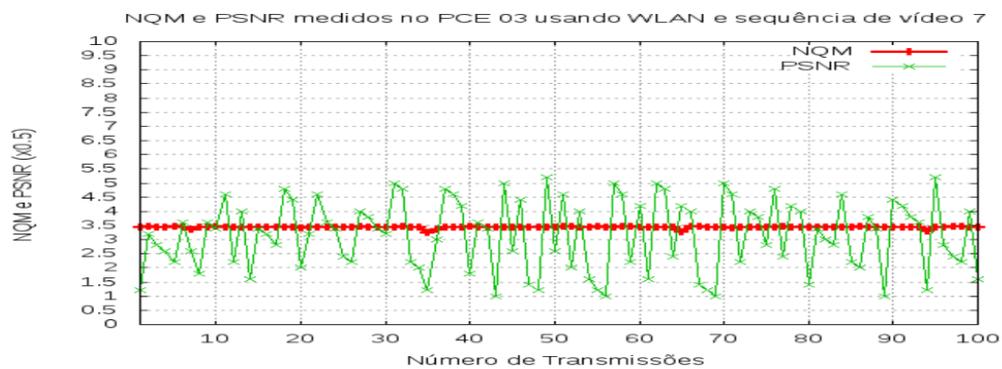
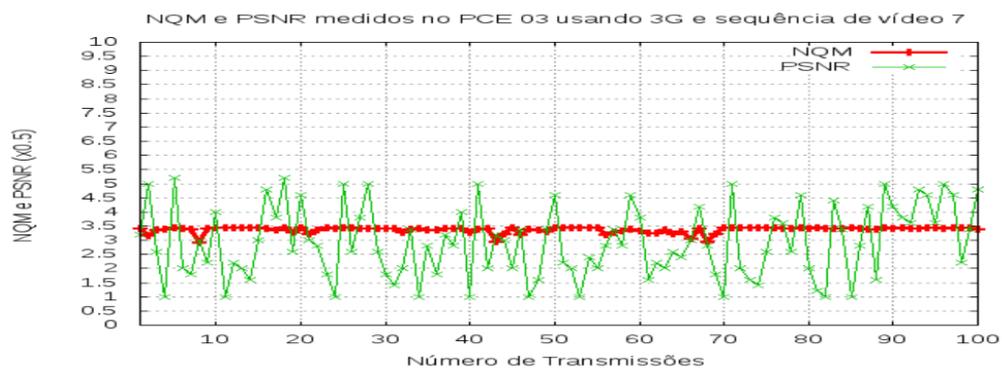


Figura 6.70: NQM x PSNR no PCE-03

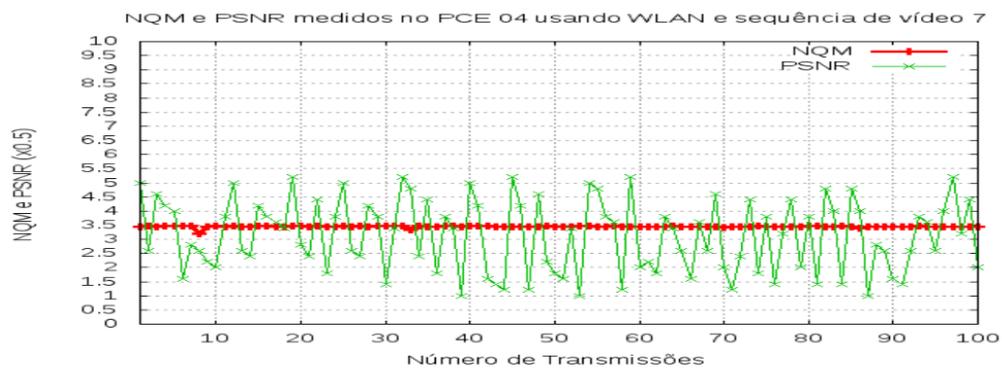


Figura 6.71: NQM x PSNR no PCE-04

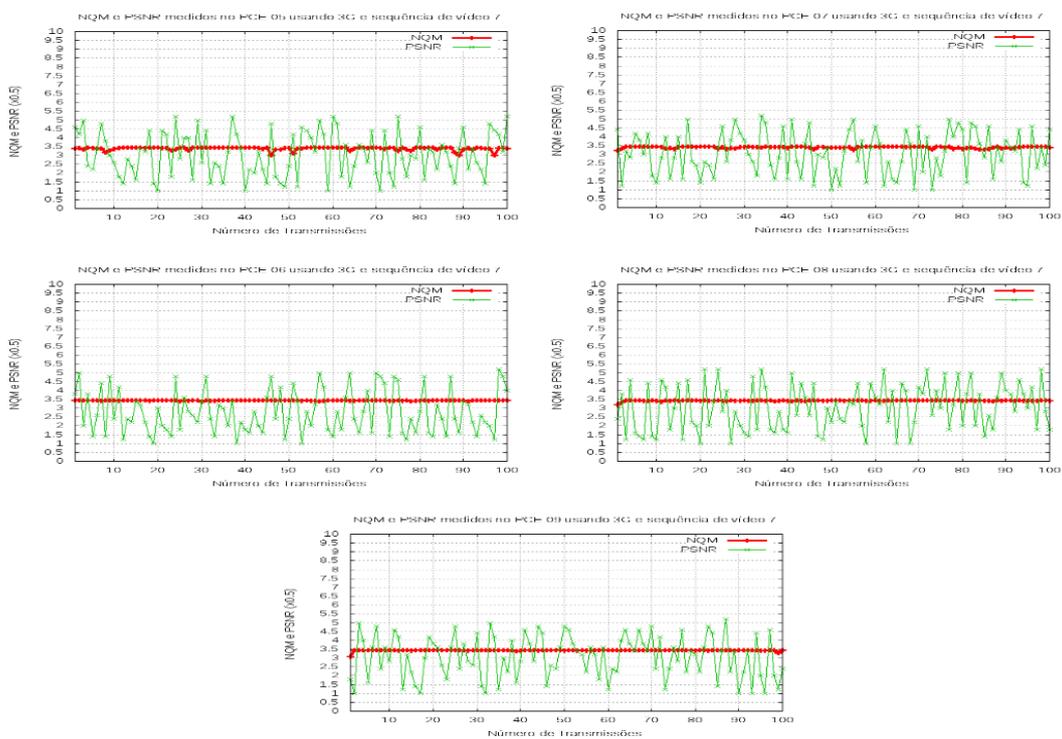


Figura 6.72: NQM x PSNR no PCE-05 a PCE-09

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Akkari et al. 2007] Akkari, N., Tohme, S., and Doughan, M. (2007). Vertical-to-Horizontal Handovers: Architecture and Mobility Management. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2007. WCNC 2007*, pages 3867–3871.
- [Ali and Pierre 2009] Ali, R. and Pierre, S. (2009). On the impact of soft vertical handoff on optimal voice admission control in PCF-based WLANs loosely coupled to 3G networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(3):1356–1365.
- [Alnas et al. 2009a] Alnas, M., Awan, I., and Holton, D. (2009a). Handoff mechanism in Mobile IP. In *Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, 2009. CyberC'09. International Conference on*, pages 176–179. IEEE.
- [Alnas et al. 2009b] Alnas, M., Awan, I., and Holton, D. (2009b). Performance evaluation of mobile IPv6 fast handover. In *Proceedings of the 6th international conference on Innovations in information technology*, pages 211–215. IEEE Press.
- [Baldo 2009] Baldo, O. (2009). A Cross-Layer Distributed Call Admission Control. In *2009 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pages 441–446. IEEE.
- [Bargh et al. 2008] Bargh, M., Hulsebosch, B., Eertink, H., Heijenk, G., Idserda, J., Laganier, J., Anand, R., and Prasad, A. (2008). Reducing handover latency in future IP-based wireless networks: Proxy Mobile IPv6 with simultaneous bindings. pages 1–10.
- [Bejaoui and Mokdad 2009] Bejaoui, T. and Mokdad, L. (2009). Adaptive Hybrid Call Admission Control Policy for UMTS with Underlying Tunnel-WLANs Heterogeneous Networks. pages 1–5.
- [Bernaschi et al. 2007] Bernaschi, M., Cacace, F., Iannello, G., and Vellucci, M. (2007). Mobility management for voip on heterogeneous networks: evaluation of adaptive schemes. *IEEE transactions on mobile computing*, pages 1035–1047.
- [Bertrand 2007] Bertrand, G. (2007). The ip multimedia subsystem in next generation networks. *Rapport technique, ENST Bretagne*.

- [Blondia et al. 2003] Blondia, C., Casals, O., Cerd, L., Van den Wijngaert, N., Willems, G., and De Cleyn, P. (2003). Performance comparison of low latency mobile IP schemes. In *Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, volume 3, pages 3–5. Citeseer.
- [Bolla et al. 2009] Bolla, R., Mangialardi, S., Rapuzzi, R., and Repetto, M. (2009). Streaming multimedia contents to nomadic users in ubiquitous computing environments. In *28th IEEE international conference on Computer Communications Workshops*, pages 218–223. IEEE.
- [Chowdhury et al. 2009] Chowdhury, M., Jang, Y., Ji, C., Choi, S., Jeon, H., Jee, J., and Park, C. (2009). Interface selection for power management in UMTS/WLAN overlaying network. In *11th international conference on Advanced Communication Technology-Volume 1*, pages 795–799. IEEE.
- [da Silva 2009] da Silva, A. (2009). *Otimização do Handover na Camada de Rede (L3) utilizando o Media Independent Handover (MIH)*. PUC, Departamento de Informática, Rio de Janeiro.
- [Das et al. 2009] Das, S., Tauil, M., Cheng, Y., Dutta, A., Baker, D., Yajnik, M., Famolari, D., et al. (2009). IEEE 802.21: Media independent handover: Features, applicability, and realization. *IEEE Communications Magazine*, 47(1):112–120.
- [de Castro Monteiro and de Lira Gondim] de Castro Monteiro, C. and de Lira Gondim, P. Video quality guarantee for mobile users across wlan/3g networks. In *Advanced Communication Technology (ICACT), 2011 13th International Conference on*, pages 1075–1079. IEEE.
- [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010a] de Castro Monteiro, C. and de Lira Gondim, P. (2010a). An alternative qos architecture for integrating wlan/3g networks. In *Wireless and Mobile Communications (ICWMC), 2010 6th International Conference on*, pages 68–77. IEEE.
- [de Castro Monteiro and de Lira Gondim 2010b] de Castro Monteiro, C. and de Lira Gondim, P. (2010b). Improving video quality for handover between legacy mipv4 overlay networks. In *I2TS 2010, 9th International Information and Telecommunication Technologies Conference*, pages 60–69.
- [De La Oliva et al. 2008] De La Oliva, A., Banchs, A., Soto, I., Melia, T., and Vidal, A. (2008). An overview of ieee 802.21: media-independent handover services. *Wireless Communications, IEEE*, 15(4):96–103.
- [Deif et al.] Deif, D., El-Badawy, H., and El-Hennawy, H. Toplogy based modeling and simulation of umts-wlan wireless heterogeneous network. In *Wireless And Optical Communications Networks (WOCN), 2010 Seventh International Conference On*, pages 1–5. IEEE.
- [Dias et al. 2010] Dias, K., Sadok, D., Fernandes, S., and Kelner, J. (2010). Approaches to resource reservation for migrating real-time sessions in future mobile wireless networks. *Wireless Networks*, 16(1):1–18.

- [Du et al. 2009] Du, H., Guo, C., Liu, Y., and Liu, Y. (2009). Research on relationship between QoE and QoS based on BP Neural Network. In *IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, pages 312–315. IEEE.
- [Eden 2007] Eden, A. (2007). No-reference estimation of the coding PSNR for H. 264-coded sequences. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 53(2):667–674.
- [Elmangosh et al. 2007] Elmangosh, A., Ashibani, M., and Shatwan, F. (2007). Quality of Service Provisioning Issue of Accessing IP Multimedia Subsystem via Wireless LANs. *New Technologies, Mobility and Security*, 3(1):133–143.
- [Fathi et al. 2007] Fathi, H., Chakraborty, S., and Prasad, R. (2007). Optimization of mobile ipv6-based handovers to support voip services in wireless heterogeneous networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 56(1):260–270.
- [Fathi et al. 2009] Fathi, H., Chakraborty, S., and Prasad, R. (2009). *Impact of Mobility on Real-Time Services: Handover Delay*. Springer.
- [Fernandez et al. 2009] Fernandez, J., Taleb, T., Guizani, M., and Kato, N. (2009). Bandwidth aggregation-aware dynamic qos negotiation for real-time video streaming in next-generation wireless networks. *IEEE Transactions on Multimedia*, 11(6):1082–1093.
- [Fu and Atiquzzaman 2005] Fu, S. and Atiquzzaman, M. (2005). Handover latency comparison of SIGMA, FMIPv6, HMIPv6, FHMIPv6. In *IEEE Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM'05*, pages 3809–3813. IEEE.
- [Fu et al. 2005a] Fu, S., Atiquzzaman, M., and Ivancic, W. (2005a). Signaling cost evaluation of sigma. In *IEEE Vehicular Technology Conference*, pages 2780–2784. IEEE.
- [Fu et al. 2005b] Fu, S., Atiquzzaman, M., Ma, L., and Lee, Y. (2005b). Signaling cost and performance of SIGMA: A seamless handover scheme for data networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 4(7):825–845.
- [Fu et al. 2005c] Fu, S., Ma, L., Atiquzzaman, M., and Lee, Y. (2005c). Architecture and performance of SIGMA: A seamless mobility architecture for data networks. In *IEEE International Conference on Communications*, pages 3249–3253. IEEE.
- [Goel and Okumoto 2009] Goel, A. and Okumoto, K. (2009). Time-dependent error-detection rate model for software reliability and other performance measures. *Reliability, IEEE Transactions on*, 28(3):206–211.
- [Gourraud 2007] Gourraud, C. (2007). Using ims as a service framework. *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, 2(1):4–11.
- [Hyun et al. 2010] Hyun, J. K., Byung, K. K., Hyun, H. C., and Seong, G. C. (2010). Implementation of QoS control system with QoE parameters on multimedia services. In *12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pages 1035–1040. IEEE.

- [Jia and Chen 2010] Jia, W. and Chen, Y. (2010). A NATed Mobility Management Scheme for PMIPv4 on Wireless LANs. In *Proceedings of the 2010 Eleventh International Conference on Mobile Data Management*, pages 125–134. IEEE Computer Society.
- [Kara 2009] Kara, N. (2009). Mobility Management Approaches for Mobile IP Networks: Performance Comparison and Use Recommendations. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 8(10):1312–1325.
- [Kassar et al. 2008] Kassar, M., Kervella, B., and Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 31(10):2607–2620.
- [Kim et al. 2008] Kim, H., Lee, D., Lee, J., Lee, K., Lyu, W., and Choi, S. (2008). The QoE evaluation method through the QoS-QoE correlation model. In *Fourth International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pages 719–725. IEEE.
- [Kim et al. 2009] Kim, M., Moon, T., and Cho, S. (2009). A study on iee 802.21 mih frameworks in heterogeneous wireless networks. In *11th international conference on Advanced Communication Technology-Volume 1*, pages 242–246. IEEE.
- [Kong et al. 2008a] Kong, K., Lee, W., Han, Y., and Shin, M. (2008a). Handover latency analysis of a network-based localized mobility management protocol. In *IEEE ICC*, pages 5838–5843.
- [Kong et al. 2008b] Kong, K., Lee, W., Han, Y., Shin, M., and You, H. (2008b). Mobility management for all-ip mobile networks: mobile ipv6 vs. proxy mobile ipv6. *Wireless Communications, IEEE*, 15(2):36–45.
- [Lee et al. 2008] Lee, J., Kim, H., Yoo, Y., Choi, S., Park, J., and Lee, Y. (2008). A New Handover Scheme for Seamless Mobility in Heterogeneous Networks. In *ICACT*, volume 2008, pages 332–335.
- [Lee et al. 2009a] Lee, S., Kim, K., Hong, K., Griffith, D., Kim, Y., and Golmie, N. (2009a). A probabilistic call admission control algorithm for wlan in heterogeneous wireless environment. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(4):1672–1676.
- [Lee et al. 2009b] Lee, S., Sriram, K., Kim, K., Kim, Y., and Golmie, N. (2009b). Vertical handoff decision algorithm for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks. *Wireless Personal Communications*, 52(3):615–636.
- [Leroux et al. 2009] Leroux, P., Latre, S., De Turck, F., and Demeester, P. (2009). Experimental characterisation of the impact of IP-based distribution network QoS on the QoE of DVB-H mobile broadcast video services. In *International Symposium on Integrated Network Management-Workshops*, pages 263–268. IFIP/IEEE.
- [Li et al. 2007] Li, M., Sandrasegaran, K., and Tung, T. (2007). A multi-interface proposal for iee 802.21 media independent handover. In *International Conference on the Management of Mobile Business.*, pages 7–7. IEEE.

- [Lim et al. 2009] Lim, C., Kim, D., Song, O., and Choi, C. (2009). Share: seamless handover architecture for 3g-wlan roaming environment. *Wireless Networks*, 15(3):353–363.
- [Liu et al. 2007] Liu, C., Zhou, C., Pissinou, N., and Makki, K. (2007). Resource management in the next-generation integrated WLAN/3G cellular networks. In *Wireless Communications and Networking Conference*, pages 3341–3346. IEEE.
- [Lixin et al. 2010] Lixin, W., Yingxia, J., Dawei, Z., and Zhixin, C. (2010). HMIPv6-based handover optimized solution and performance analysis. In *Test and Measurement, 2009. ICTM'09. International Conference on*, volume 2, pages 133–136. IEEE.
- [Lopes et al. 2009a] Lopes, N., Nicolau, M., and Santos, A. (2009a). Evaluating rate-estimation for a mobility and QoS-aware network architecture. In *Proceedings of the 17th international conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, pages 348–352. IEEE Press.
- [Lopes et al. 2009b] Lopes, N., Nicolau, M., and Santos, A. (2009b). QoS-aware architecture for FHMIP micromobility. In *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT'09. International Conference on*, pages 1–8. IEEE.
- [Lv et al. 2008] Lv, J., Ma, Y., and Yoshizawa, S. (2008). Intelligent Seamless Vertical Handoff Algorithm for the next generation wireless networks. In *1st international conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications*, pages 1–5. ICST.
- [Machan et al. 2008] Machan, P., Serwin, S., and Wozniak, J. (2008). Performance of mobility support mechanisms in a heterogeneous umts and ieee 802.11 network offered under the ieee 802.21 standard. In *1st International Conference on Information Technology*, pages 1–4. IEEE.
- [Makaya and Pierre 2008] Makaya, C. and Pierre, S. (2008). Adaptive handoff scheme for heterogeneous IP wireless networks. *Computer Communications*, 31(10):2094–2108.
- [Makris and Skianis 2008] Makris, P. and Skianis, C. (2008). Multi-scenario based call admission control for coexisting heterogeneous wireless technologies. In *Global Telecommunications Conference*, pages 1–5. IEEE.
- [Malekian 2008] Malekian, R. (2008). The study of handover in mobile ip networks. In *Third International Conference on Broadband Communications, Information Technology and Biomedical Applications*, pages 181–185. IEEE.
- [Mansourme et al. 2008] Mansourme, M., Mellor, J., and Awan, I. (2008). Improve Handoff HMIP Scheme Using Location Information. In *Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Marquez et al. 2005] Marquez, F., Rodriguez, M., Valladares, T., De Miguel, T., and Galindo, L. (2005). Interworking of ip multimedia core networks between 3gpp and wlan. *Wireless Communications, IEEE*, 12(3):58–65.

- [Monteiro and Gondim 2010a] Monteiro, C. and Gondim, P. (2010a). Improving Video Quality for Handover between Legacy MIPv4 Overlay Networks. In *9th International Information and Telecommunication technologies Symposium - I2TS*.
- [Monteiro and Gondim 2010b] Monteiro, C. and Gondim, P. (2010b). A solution for seamless video delivery in wlan/3g networks. In *UBICOMM 2010, The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, pages 164–169.
- [Monteiro and Gondim 2009] Monteiro, C. C. and Gondim, P. R. L. (2009). Improving video quality in 802.11 networks. In *28th international conference on Computer Communications Workshops*, pages 188–193. IEEE.
- [Monteiro et al. 2010] Monteiro, C. C., Gondim, P. R. L., and Rios, V. M. (2010). Seamless video session handoff between wlangs. *International Journal on Computer System and Networking*, 2010(2010):36–46.
- [Munasinghe and Jamalipour 2007] Munasinghe, K. and Jamalipour, A. (2007). A 3GPP-IMS based approach for converging next generation mobile data networks. In *International Conference on Communications*, pages 5264–5269. IEEE.
- [Munasinghe and Jamalipour 2008] Munasinghe, K. and Jamalipour, A. (2008). Interworking of WLAN-UMTS networks: an IMS-based platform for session mobility. *IEEE Communications Magazine*, 46(9):184–191.
- [Munasinghe 2008] Munasinghe, K. S. (2008). *A Unified Mobility Management Architecture for Interworked Heterogeneous Mobile Networks*.
- [Mussabbir et al. 2007] Mussabbir, Q., Yao, W., Niu, Z., and Fu, Z. (2007). Optimized fmipv6 using ieee 802.21 mih services in vehicular networks. *Transactions on Vehicular Technology*, 56(6):3397–3407.
- [Obele and Kang 2009] Obele, B. and Kang, M. (2009). Mobility management: a proactive QoS-aware proxy MIP with improved handover latency for end-to-end QoS provisioning in a proxy MIP domain. In *Proceedings of the 11th international conference on Advanced Communication Technology-Volume 3*, pages 1867–1869. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., The.
- [Perkins et al. 2002] Perkins, C. et al. (2002). Ip mobility support for ipv4. Technical report, RFC 3344, August.
- [Poikselka and Mayer 2009] Poikselka, M. and Mayer, G. (2009). *The IMS: IP multimedia concepts and services*. John Wiley & Sons Inc.
- [Pontes et al. 2008] Pontes, A., dos Passos Silva, D., Jailton, J., Rodrigues, O., and Dias, K. (2008). Handover management in integrated wlan and mobile wimax networks. *Wireless Communications, IEEE*, 15(5):86–95.

- [Rosenberg et al. 2001] Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnson, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M., and Schooler, E. (2001). Sip: session initiation protocol.
- [Saha et al. 2009] Saha, S., Bhattacharjee, S., Bhowmick, R., Mukhupadhyay, A., and Nagamalai, D. (2009). Analysis of Hierarchical Mobile IP Based Fast Mobility Management Schemes. In *2009 First International Conference on Networks & Communications*, pages 338–343. IEEE.
- [Seok et al. 2007] Seok, W., Kwon, Y., Kwak, J., Hwang, Y., Noh, S., and Kim, S. (2007). Two-Tier Call Admission Control to Minimize CBP/CDP in Heterogeneous Wireless Networks. In *Second International Conference on Communications and Networking*, pages 1031–1035. IEEE.
- [Singhrova and Prakash 2007] Singhrova, A. and Prakash, N. (2007). A review of vertical handoff decision algorithm in heterogeneous networks. In *4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology*, pages 68–71. ACM.
- [Sivagurunathan et al. 2005a] Sivagurunathan, S., Atiquzzaman, M., and Ivancic, W. (2005a). Improving stability of SIGMA handoff. In *IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE*, pages 836–840. Citeseer.
- [Sivagurunathan et al. 2005b] Sivagurunathan, S., Jones, J., Atiquzzaman, M., Fu, S., and Lee, Y. (2005b). Experimental comparison of handoff performance of SIGMA and Mobile IP. In *Workshop on High Performance Switching and Routing*, pages 366–370. IEEE.
- [Song and Jamalipour 2008] Song, Q. and Jamalipour, A. (2008). A quality of service negotiation-based vertical handoff decision scheme in heterogeneous wireless systems. *European Journal of Operational Research*, 191(3):1059–1074.
- [Song et al. 2007a] Song, W., Jiang, H., and Zhuang, W. (2007a). Performance analysis of the wlan-first scheme in cellular/wlan interworking. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 6(5):1932–1952.
- [Song et al. 2005] Song, W., Jiang, H., Zhuang, W., and Shen, X. (2005). Resource management for qos support in cellular/wlan interworking. *IEEE Network*, 19(5):12–18.
- [Song et al. 2007b] Song, W., Zhuang, W., and Cheng, Y. (2007b). Load balancing for cellular/wlan integrated networks. *IEEE Network*, 21(1):27–33.
- [Statovci-Halimi 2008] Statovci-Halimi, B. (2008). Support of IP Multi Services Through Admission Control. In *First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference*, pages 407–414. ITU-T.
- [Stevens-Navarro and Wong 2007] Stevens-Navarro, E. and Wong, V. (2007). Resource sharing in an integrated wireless cellular/WLAN system. In *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pages 631–634. CCECE.

- [Suresh et al. 2007] Suresh, N., Jayant, N., and Yang, O. (2007). AVQ: A Zeroreference Metric for Automatic Measurement of the Quality of Visual Communications. In *Invited Talk, Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics, Scottsdale, AZ, USA*.
- [Suresh et al. 2008] Suresh, N., Mane, P., and Jayant, N. (2008). Real-Time Prototype of a Zero-Reference Video Quality Algorithm. In *Consumer Electronics, 2008. ICCE 2008. Digest of Technical Papers. International Conference on*, pages 1–2. IEEE.
- [Suresh et al. 2009] Suresh, N., Palaniappan, R., Mane, P., and Jayant, N. (2009). Testing of a No-Reference VQ Metric: Monitoring Quality and Detecting Visible Artifacts. In *Fourth International Workshop On Video Processing and Quality Metrics, Arizona*.
- [Taleb et al. 2009] Taleb, T., Jamalipour, A., Nemoto, Y., and Kato, N. (2009). DEMAPS: A Load-Transition Based Mobility Management Scheme for an Efficient Selection of MAP in Mobile IPv6 Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(2):954–965.
- [Tang et al. 2008] Tang, J., Davids, C., and Cheng, Y. (2008). A study of an open source ip multimedia subsystem test bed. In *5th International ICST Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*, pages 1–7. ICST.
- [Tawil et al.] Tawil, R., Pujolle, G., and Demerjian, J. Distributed Handoff Decision Scheme using MIH Function for the Fourth Generation Wireless Networks. In *3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, pages 1–6. ACM.
- [Uemura et al. 2008] Uemura, S., Fukumoto, N., Yamada, H., and Nakamura, H. (2008). Qos/qoe measurement system implemented on cellular phone for ngn. In *5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pages 117–121. IEEE.
- [Vucetic et al. 2008] Vucetic, B., Munasinghe, K., and Jamalipour, A. (2008). Interworking between WLAN and 3G Cellular Networks: An IMS Based Architecture.
- [Wang et al. 2009] Wang, C., Xia, W., Shen, L., and Song, T. (2009). A System Level Simulation Platform for the Study of QoS Provisioning in UMTS/WLAN Interworking. In *First IEEE International Conference on Information Science and Engineering*, pages 2518–2521. IEEE.
- [Winkler 2007] Winkler, S. (2007). Video quality and beyond. In *Proc. European Signal Processing Conference*, pages 150–154. Citeseer.
- [Wright 2007] Wright, S. (2007). Admission control in multi-service IP networks: a tutorial. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 9(2):72–87.
- [Wu et al. 2007] Wu, H., Rao, K., and Kassim, A. (2007). Digital video image quality and perceptual coding. *Journal of Electronic Imaging*, 16:039901.

- [Xie and Akyildiz 2002] Xie, J. and Akyildiz, I. (2002). An optimal location management scheme for minimizing signaling cost in Mobile IP. In *IEEE International Conference on Communications*, pages 3313–3317. IEEE.
- [Xu et al. 2007] Xu, F., Zhang, L., and Zhou, Z. (2007). Interworking of wimax and 3gpp networks based on ims [ip multimedia systems (ims) infrastructure and services]. *Communications Magazine, IEEE*, 45(3):144–150.
- [Yamada et al. 2007] Yamada, H., Fukumoto, N., Isomura, M. and Uemura, S., and Hayashi, M. (2007). A QoE based service control scheme for RACF in IP-based FMC networks. In *9th IEEE International Conference on E-Commerce Technology and the 4th IEEE International Conference on Enterprise Computing, E-Commerce, and E-Services*, pages 611–618. IEEE.
- [Yang and Deng 2007] Yang, P. and Deng, H. (2007). Seamless integration of 3G and 802.11 wireless network. In *5th ACM international workshop on Mobility management and wireless access*, pages 60–65. ACM.
- [Yang and Wu 2008] Yang, S. F. and Wu, J. S. (2008). A IEEE 802.21 Handover design with QOS provision across WLAN and WMAN. In *International Conference on Communications, Circuits and Systems*, pages 548–552. IEEE.
- [Yu 2009] Yu, G. (2009). A Fuzzy Admission Control Strategy for End-to-End QoS Framework. In *IEEE WRI World Congress on Software Engineering*, pages 273–275. IEEE.
- [Yusof et al. 2007] Yusof, A. L., Ismail, M., and Misran, N. (2007). Architecture and mobility management protocols for next-generation wireless systems (NGWS). In *IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications*, pages 747–752. IEEE.