



**PEDRO MANUEL
PAUPÉRIO DUARTE
OLIVEIRA**

**SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO E ANÁLISE DE
MEDIDAS QoS EM TERMINAIS MÓVEIS IP**



**PEDRO MANUEL
PAUPÉRIO DUARTE
OLIVEIRA**

**SOLUÇÕES PARA OBTENÇÃO E ANÁLISE DE
MEDIDAS QoS EM TERMINAIS MÓVEIS IP**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Francisco Manuel Marques Fontes e da Doutora Susana Isabel Barreto de Miranda Sargento, Professores Auxiliares Convidados do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, pelo incansável e incondicional apoio.

o júri

Presidente	Prof. Doutor Rui Jorge Morais Tomaz Valadas professor associado com agregação da Universidade de Aveiro
Arguente	Prof. Doutor Edmundo Monteiro professor associado da Universidade de Coimbra
Orientador	Prof. Doutor Francisco Manuel Marques Fontes professor auxiliar convidado da Universidade de Aveiro
Co-orientadora	Prof ^ª . Doutora Susana Isabel Barreto de Miranda Sargento professora auxiliar convidada da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que directa ou indirectamente me ajudaram durante a realização deste trabalho, especialmente:

Ao orientador Prof. Dr. Francisco Fontes e co-orientadora Prof^ª. Dr^ª. Susana Sargento pelo apoio e acompanhamento dado ao longo de todo o trabalho.

Aos Engs. Jorge Loura, Gonçalo Lemos, André Oliveira, Ricardo Azevedo e Carlos Marinho pelos esclarecimentos facultados, sem os quais a execução deste trabalho não teria sido possível.

palavras-chave

QoS, terminal móvel, QoE, medidas, monitorização, sincronização, protocolos de transporte, comunicação em tempo real, TCP, RTP.

Resumo

O aumento do número e complexidade dos serviços, aliado a um novo tipo de clientes cada vez mais exigente, obriga a uma gestão ponderada dos recursos de modo a garantir uma QoS mínima ao utilizador. O facto de, por vezes, as soluções de monitorização de QoS fim a fim não serem suficientes para fornecer as indicações de QoS necessárias, principalmente sob o ponto de vista do utilizador final, fez com que fosse necessário procurar técnicas alternativas capazes de obter essa informação.

Nesta dissertação é apresentada uma solução para monitorizar e extrair as principais medidas de QoS associadas à ligação existente entre terminais móveis IP e os respectivos *routers* de acesso. A informação será obtida através da análise das camadas de rede e transporte, não descartando porém outras camadas de nível inferior e superior. Essa informação será utilizada na estimativa de um valor descritivo da qualidade actual da ligação.

Serão apresentados detalhes de implementação, assim como cenários de teste, resultados e principais conclusões.

Com este trabalho foi possível obter estimativas de diversos parâmetros importantes para a determinação da QoS e comprovar a viabilidade da solução aqui apresentada.

Keywords

QoS, mobile terminal, QoE, measurements, monitoring, synchronization, transport protocols, real time communication, TCP, RTP.

Abstract

The increase of the number and complexity of services allied to a new type of more demanding customers compels to a weighed resources management in order to guarantee a minimum QoS to the user. The fact that, sometimes end to end solutions are not enough to supply the necessary QoS indications, mainly under the final user point of view, makes it necessary to look for alternative techniques capable to get this information.

In this dissertation it is presented a solution to monitor and extract the main QoS measurements related with the existent connection between the mobile IP terminal and the access router. The information will be obtained through the analysis of network and transport layers without discarding other layers of lower or higher level. That information will be used in the estimation of a descriptive value for the current link quality.

Implementation details will be presented as well as test scenarios, results, and main conclusions.

With this work, it was possible to obtain estimations for different parameters important to QoS determination and to prove the viability of the solution herein presented.

Conteúdo

1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	3
2 Estado da arte	5
2.1 Monitorização activa e passiva	5
2.1.1 Soluções para monitorização activa	5
2.1.2 Soluções para monitorização passiva	9
2.1.3 Soluções para monitorização activa e passiva.....	10
2.2 Medição de desempenho em ambientes wireless	11
2.3 Análise de algumas soluções mais relevantes	12
2.3.1 <i>Mobile QoS Agents</i>	12
2.3.2 Método de monitorização não intrusivo para serviços em tempo real.....	14
2.3.3 <i>ArQoS</i>	16
2.4 Medição de QoS e estimativas de QoE.....	17
2.5 Sumário	20
3 Monitorização e estimativa da qualidade da ligação.....	23
3.1 Monitorização de ligações TCP	24
3.1.1 Alternativas consideradas	24
3.1.2 Descrição do procedimento adoptado.....	25
3.2 Monitorização de ligações RTP	27

3.2.1	Descrição do procedimento adoptado	27
3.3	Monitorização da interface de rede 802.11	29
3.3.1	Descrição do procedimento adoptado	29
3.4	Outros procedimentos efectuados.....	31
3.4.1	Interligação dos diferentes módulos	31
3.4.2	Alarmes de qualidade.....	32
3.5	Estimativa da qualidade da ligação.....	34
3.5.1	Qualidade Nível 2.....	34
3.5.2	Qualidade Nível 3.....	34
3.5.3	Nível de ocupação da rede	36
3.5.4	Qualidade Global da Ligação	37
3.6	Conclusões	41
4	Apresentação e análise dos resultados	43
4.1	Testes modulares	43
4.1.1	Monitorização de ligações TCP.....	43
4.1.2	Monitorização de ligações RTP.....	46
4.1.3	Monitorização da interface de rede 802.11.....	49
4.2	Testes de integração e sistema.....	50
4.2.1	Testes em ambiente <i>wired</i>	51
4.2.1.1	Cenário de teste	51
4.2.1.2	Taxas de perdas	51
4.2.1.3	Modos de funcionamento.....	54
4.2.2	Testes em ambiente <i>wireless</i>	57
4.2.2.1	Cenário de teste	57

4.2.2.2 Nível de sinal rádio	58
4.2.2.3 Estimativa global da qualidade.....	60
4.2.2.4 Consumos: Processamento e Memória.....	66
4.3 Conclusões	68
5 Conclusões	71
5.1 Conclusões	71
5.2 Trabalho Futuro	72
Referências	75
Anexos.....	81
Anexo A: O Protocolo TCP	81
A.1 Aspectos Gerais	81
A.2 Cabeçalho TCP	82
A.3 Sessões TCP.....	84
Anexo B: Estrutura tcp_info	86
Anexo C: O Protocolo RTP	87
C.1 Aspectos Gerais	87
C.2 Cabeçalho RTP	88
C.3 Sessão RTP e tipos de carga	89
Anexo D: Camadas de nível inferior - Interface 802.11	91

Lista de Acrónimos

AN: *Acknowledgement Number*

AP: *Access Point*

AR: *Access Router*

CoMPACT: *Change-of-Measure based Passive/Active Monitoring*

CSRC: *Contributing Source*

FTP: *File Transfer Protocol*

GPS: *Global Positioning System*

HTTP: *HyperText Transfer Protocol*

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IETF: *Internet Engineering Task Force*

IP: *Internet Protocol*

IPSec: *IP Security Protocol*

LMOS: *Listening Mean Opinion Score*

MAC: *Media Access Control*

MNO: *Mobile Network Operator*

MOS: *Mean Opinion Score*

MQA: *Mobile QoS Agent*

MVNO: *Mobile Virtual Network Operator*

NWID: *Normalized Weighted Increased Delay*

PDP: *Packet Data Protocol*

PLC: *Packet Loss Concealment*

PLR: *Packet Loss Ratio*

PGM: *Probe Gap Model*

PRM: *Path Rate Model*

QoE: *Quality of Experience*

QoS: *Quality of Service*

RSVP: *Resource Reservation Protocol*

RTCP: *Real-time Transport Control Protocol*

RTD: *Round Trip Delay*

RTP: *Real-time Transport Protocol*

RTT: *Round Trip Time*

SLA: *Service Level Agreement*

SN: *Sequence Number*

SSRC: *Synchronization Source*

SyncML DM: *Synchronization Markup Language Protocol for Device Management*

TCP: *Transmission Control Protocol*

Lista de Acrónimos

UDP: *User Datagram Protocol*

VoIP: *Voice over IP*

VTHD: *Vraiment Très Haut Débit*

WLAN: *Wireless Local Area Network*

Lista de Figuras

Figura 1 - Constituição do MQA	13
Figura 2 - Monitorização e estimativa não intrusiva de QoS	14
Figura 3 - Comparação dos resultados obtidos para a qualidade utilizando métodos baseados em: <i>packet loss ratio</i> (a) e <i>invalid packet ration</i> (b) (apresentada em [26])	15
Figura 4 - Melhoria resultante da utilização do parâmetro <i>invalid frame ratio</i> (apresentada em [26])	15
Figura 5 - Cenário genérico de utilização da solução ArQoS (apresentada em [27])	16
Figura 6 - Modelo para as categorias de QoS multimédia (1)	18
Figura 7 - Modelo para as categorias de QoS multimédia (2)	19
Figura 8 - <i>Trafshow</i>	24
Figura 9 - Ficheiro <i>/proc/net/wireless</i>	30
Figura 10 - Ficheiro de Configuração	33
Figura 11 - Conteúdo do ficheiro <i>tcp.stats</i>	44
Figura 12 - Captura no <i>wireshark</i> com informação referente ao pacote 16	45
Figura 13 - Captura no <i>wireshark</i> com informação referente ao pacote 17	45
Figura 14 - <i>RTPstreamGen</i>	46
Figura 15 - Conteúdo do ficheiro <i>rtp.stats</i>	47
Figura 16 - Captura no <i>wireshark</i> com informação referente ao pacote 615	48
Figura 17 - Captura no <i>wireshark</i> com informação relacionada com o pacote 616	48
Figura 18 - Conteúdo do ficheiro <i>driver.stats</i>	50
Figura 19 - Conteúdo do ficheiro <i>/proc/net/wireless</i> para a terceira iteração	50
Figura 20 - Cenário de teste em ambiente <i>wired</i>	51
Figura 21 - TCP num ambiente idealmente sem perdas	52
Figura 22 - TCP num ambiente com 20% perda de pacotes	52
Figura 23 - TCP num ambiente com 60% perda de pacotes	52
Figura 24 - RTP num ambiente idealmente sem perdas	52
Figura 25 - RTP num ambiente com 20% perda de pacotes	53
Figura 26 - RTP num ambiente com 60% perda de pacotes	53
Figura 27 - Modo de funcionamento “Genérico”	55
Figura 28 - Modo de funcionamento “Dados”	55
Figura 29 - Modo de funcionamento “ <i>Streaming</i> ”	56
Figura 30 - Modo de funcionamento “Comunicação em Tempo Real”	56
Figura 31 - Cenário de teste em ambiente <i>wireless</i>	57
Figura 32 - Qualidade nível 2 na ausência de pacotes trocados entre “ <i>UserPC</i> ” e “ <i>Mac1</i> ”	58
Figura 33 - Conteúdo do ficheiro <i>/proc/net/wireless</i> no início do intervalo de análise	58
Figura 34 - Conteúdo do ficheiro <i>/proc/net/wireless</i> no fim do intervalo de análise	58
Figura 35 - Degradação do nível de sinal rádio (1)	59

Lista de Figuras

Figura 36 - Degradação do nível de sinal rádio (2)-----	59
Figura 37 - Degradação do nível de sinal rádio (3)-----	59
Figura 38 - Conteúdo do ficheiro <i>/proc/net/wireless</i> associado à figura 37 -----	59
Figura 39 - Estimativa global da qualidade-----	61
Figura 40 - Qualidade degradando o nível de sinal num ambiente sem perdas (1)-----	62
Figura 41 - Qualidade degradando o nível de sinal num ambiente sem perdas (2)-----	63
Figura 42 - Qualidade ligação RTP degradando o nível de sinal num ambiente com perdas (1)---	64
Figura 43 - Qualidade ligação RTP degradando o nível de sinal num ambiente com perdas (2)---	65
Figura 44 - Consumos TCP (sem limite histórico)-----	66
Figura 45 - Consumos TCP (com limite histórico de 50 pacotes)-----	67
Figura 46 - Consumos RTP -----	67
Figura 47 - Cabeçalho TCP -----	83
Figura 48 - Estabelecimento de uma ligação TCP -----	84
Figura 49 - Transferência de informação TCP-----	85
Figura 50 - Terminação de uma ligação TCP-----	86
Figura 51 - Cabeçalho UDP-----	87
Figura 52 - Cabeçalho RTP -----	88

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores recomendados para diferentes tipos de serviço (1)	19
Tabela 2 - Valores recomendados para diferentes tipos de serviço (2)	19
Tabela 3 - Módulos do driver <i>MADWIFI</i>	30
Tabela 4 - Situações analisadas e respectivas informações globais de qualidade.....	38
Tabela 5 - Campos da estrutura <i>tcp_info</i>	86
Tabela 6 - RTP <i>Payload Types</i>	90
Tabela 7 - Características dos principais protocolos das redes domésticas sem fios.....	91

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

O mundo das telecomunicações está continuamente em evolução. É cada vez maior o número e a complexidade dos serviços fornecidos pelas empresas de telecomunicações que visam deste modo satisfazer as necessidades de um amplo e heterogéneo conjunto de clientes cada vez mais exigentes.

Este crescente número de serviços e clientes obriga a uma gestão consciente e rigorosa das redes de comunicações. É imprescindível que a utilização dos recursos disponíveis seja tão rentável quanto possível, e ao mesmo tempo capaz de garantir um determinado nível mínimo de qualidade do serviço prestado a cada cliente.

Para verificar se a qualidade de serviço fornecida é ou não aceitável, é de elevado interesse que seja efectuada uma monitorização em tempo real e fim a fim que permita a recolha e análise dos diferentes parâmetros de desempenho, e que possa ser utilizada para controlo de admissão.

No entanto, a monitorização fim a fim pode não ser suficiente para caracterizar o estado da rede e a verdadeira qualidade do serviço que é fornecida ao cliente. Neste âmbito, e de forma a ter uma percepção real da experiência do ponto de vista do utilizador durante a utilização dos serviços, é necessário a obtenção de medidas de desempenho directamente no terminal. Contudo, este procedimento está longe de ser trivial devido a uma série de condicionantes que tornam impossível a aplicação directa de algumas soluções existentes para a rede. Entre os problemas podem identificar-se por exemplo: a dificuldade em termos da sincronização do relógio de um terminal com a rede, a sua capacidade de processamento, a ocupação de recursos de rede para as medidas, e ainda a comunicação dos resultados dessas mesmas medições aos elementos de controlo na rede. Todos estes problemas fazem com que seja necessário encontrar formas adequadas de inferir a QoS (*Quality of Service*) e a QoE (*Quality of Experience*) percebidas pelo utilizador.

A simples obtenção de medidas de desempenho não é por si só suficiente para assegurar um determinado nível de QoS ou mesmo de QoE. Não é suficiente saber se ocorreram muitos ou poucos erros de transmissão, se existiram muitas ou poucas colisões, se a largura de banda disponível é suficiente ou não. É igualmente importante e necessário saber como gerir os valores obtidos com essas medições de forma a utilizar essa informação para reajustar o sistema tendo em conta as condições actuais.

Existem ainda outros pontos que podem e devem ser considerados quando se analisam soluções para obtenção de medidas de desempenho, como a escalabilidade e a pluralidade de redes de acesso e a heterogeneidade em termos de terminais móveis.

1.2 Objectivos

Com este trabalho pretende-se propor, implementar e testar soluções para obtenção e análise de medidas de QoS e QoE a partir de terminais móveis IP utilizando a tecnologia 802.11.

Essas soluções de monitorização serão capazes de fornecer informação (atraso, perdas, etc.) para efectuar, entre outros, o controlo de admissão de serviços na rede, de forma a assegurar um nível mínimo de desempenho por parte da rede. Embora se pretenda dar ênfase ao nível de rede (IP), não foi excluído do plano de trabalhos a análise de níveis inferiores (*Layer 1 e 2*) e superiores (ao nível do fluxo de informação da aplicação).

Mais concretamente, os objectivos estabelecidos no âmbito desta dissertação de mestrado foram:

- Estudo e análise de algumas técnicas de *probing* passivo e activo utilizadas actualmente para a obtenção de parâmetros de desempenho no terminal.
- Desenvolvimento de um módulo de *software* não intrusivo, que instalado em cada um dos terminais ligados à rede, permita obter dados recorrendo à informação trocada entre o terminal e outros elementos de rede, que posteriormente sejam utilizados para caracterizar a qualidade da ligação.

Este módulo de *software* integrará quatro sub-módulos a serem desenvolvidos em fases distintas:

- Sub-módulo responsável pela monitorização e recolha de informação relacionada com o tráfego TCP (*Transmission Control Protocol*);
- Sub-módulo responsável pela monitorização e recolha de informação relacionada com o tráfego RTP (*Real-time Transport Protocol*);
- Sub-módulo responsável pela monitorização e recolha de informação das camadas inferiores (através do acesso aos dados associados à placa de rede);
- Sub-módulo responsável pela estimativa da qualidade da ligação e caracterização do estado actual da rede com base na informação recolhida no terminal utilizando cada um dos sub-módulos anteriores.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é constituída pelos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo é efectuado um enquadramento geral do trabalho e são descritos os principais objectivos que estiveram na base desta dissertação.
- **Capítulo 2 – Estado da arte:** Neste capítulo é caracterizado o estado da arte actual no que diz respeito a técnicas de monitorização activa e passiva e métodos de medição de desempenho em ambientes *wireless*. São também apresentadas algumas soluções consideradas mais relevantes para a realização deste trabalho. Adicionalmente é ainda efectuada uma análise relacionada com os níveis mínimos de QoS e QoE recomendados para diferentes tipos de serviços.
- **Capítulo 3 – Monitorização e estimativa da qualidade da ligação:** Neste capítulo são apresentados os detalhes relacionados com a implementação de cada um dos três sub-módulos propostos. É ainda apresentada a forma como esses diferentes sub-módulos são integrados num único módulo e o procedimento que foi utilizado para a obtenção das diferentes estimativas relacionadas com a qualidade.
- **Capítulo 4 – Apresentação e análise dos resultados:** Neste capítulo são descritos os cenários de teste implementados, testes efectuados e resultados obtidos com consequente análise desses mesmos resultados.
- **Capítulo 5 – Conclusões:** Neste capítulo são expostas as principais conclusões e notas finais relacionadas com a execução deste trabalho; são também apresentados os principais pontos de interesse em termos de actividades futuras relacionadas com o tema abordado nesta dissertação.

Capítulo 2

Estado da arte

Nesta secção é apresentado o estado da arte relativamente às soluções existentes para a monitorização de desempenho da rede.

Mais concretamente, é efectuada uma análise relacionada com os diferentes tipos de monitorização existentes e são apresentados alguns métodos utilizados na medição de desempenho em ambientes *wireless*. Em seguida é efectuada uma análise mais detalhada de algumas soluções consideradas mais relevantes para a realização deste trabalho, onde são enunciadas as suas principais vantagens e desvantagens com referência aos seus principais pontos de interesse tendo em conta o trabalho realizado.

Por fim, é ainda efectuada uma análise em termos do impacto que diferentes tipos de métricas têm sobre a qualidade sob o ponto de vista do utilizador final, onde são apresentados valores recomendados para cada uma das métricas consideradas tendo em conta um vasto número de serviços.

2.1 Monitorização activa e passiva

A monitorização da rede pode ser efectuada de dois modos distintos:

- Modo activo: Caso sejam introduzidos pacotes de teste com o intuito de avaliar a qualidade da rede;
- Modo passivo: Caso seja apenas utilizado o tráfego existente para efectuar essa mesma análise.

O tipo de monitorização condiciona não só a informação possível de recolher como também a aplicabilidade das soluções que as utilizam de acordo com as condições de rede actuais (em termos de ocupação).

2.1.1 Soluções para monitorização activa

Os esquemas de monitorização activa introduzem na rede pacotes de teste de forma a extrair informação acerca das características da rede, como a taxa de perdas, o atraso de ida e volta, a largura de banda disponível, etc. Apesar de constituírem um método com boa exactidão, este tipo de procedimento pode apresentar alguns problemas de escalabilidade, resultantes do facto do tráfego de teste introduzido competir com o tráfego existente na rede pelos recursos disponíveis, os quais serão tanto mais críticos quanto maior for a limitação em termos de recursos.

Um dos parâmetros mais importantes para avaliar o desempenho da rede é a taxa de perdas.

Uma solução bastante interessante, designada por *STING*, é apresentada em [1] e [2]. Esta solução permite estimar as taxas de perdas de pacotes em ambas as direcções de forma distinta, a partir de um único terminal através da manipulação de fluxos de tráfego TCP associados a pedidos HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) por si efectuados. O terminal destino, apenas necessita de ter algum tipo de serviço activo baseado em TCP (como por exemplo servidor *web*). O mecanismo de controlo de erros do TCP (ao qual está associado o processo de confirmação da informação recebida pelo terminal destino) é usado como base para a obtenção de informações externas ao próprio terminal, nomeadamente o número de pacotes enviados e recebidos pelo terminal remoto, necessárias para a estimativa da taxa de perdas nas direcções de *uplink* e *downlink*. Contudo, esta solução apresenta algumas limitações em termos da determinação da taxa de perdas no sentido inverso (*remotehost* → *localhost*) sempre que o mecanismo de confirmação dos pacotes recebidos não é do tipo *ack parity*, ou seja, quando o envio da confirmação da recepção de um pacote previamente transmitido aguarda pela chegada ou esgotamento do *timeout* associado ao pacote seguinte. A solução para este problema passa pela introdução de um atraso significativo no envio de pacotes de teste consecutivos de forma a exceder o *timeout* associado à recepção de um pacote por parte do terminal destino.

Em [3] é definido um novo algoritmo para medição da taxa de perda de pacotes, desenvolvido com o objectivo de ultrapassar as deficiências relacionadas com as técnicas *standard* baseadas na modulação de *Poisson*.

O método apresentado consiste no envio de uma sequência de fluxos de teste onde cada um desses fluxos é constituído por um ou mais pacotes muito próximos entre si, com o intuito de obter o estado da rede no instante de monitorização em termos de congestionamento. A utilização de fluxos de teste constituídos por vários pacotes deriva do facto de nem todos os pacotes que passam por uma ligação congestionada estarem sujeitos a perdas.

Para além de permitir a obtenção de estimativas mais exactas quando comparado com as técnicas de monitorização de *Poisson*, o processo apresentado estabelece uma correspondência directa entre o grau de exactidão das medições e os impactos sobre a rede através da gestão do número de pacotes enviados por fluxo de teste.

Existem várias técnicas de monitorização activa que utilizam informação relacionada com os tempos de transmissão e atrasos (nomeadamente *RTT (Round Trip Time)* e *RTD (Round Trip Delay)*).

Uma solução, designada por *Network Radar* ([4]) recorre a medições do *RTT* associado aos segmentos TCP *SYN* e *SYN+ACK*, como forma de estimar o atraso associado aos vários caminhos. Este método basea-se no envio de dois pacotes de teste a partir dum emissor para dois receptores distintos. As diferenças detectadas em termos dos tempos de chegada a cada um dos receptores permite retirar conclusões acerca do atraso relativo associado a cada um dos caminhos analisados. Repetindo este procedimento tantas vezes quantas forem necessárias tendo em conta o número de diferentes pares de receptores existentes, é possível obter uma distribuição lógica do

atraso associado a cada um dos caminhos analisados entre o emissor e os vários receptores. A principal vantagem relacionada com esta técnica está relacionada com o facto de esta poder ser aplicada à Internet por não requerer a execução de um determinado tipo especial de medições ou cooperação nos receptores.

Em [5] é apresentada uma solução baseada no RTD (*Round Trip Delay*), que defende a análise de todas as ligações com base no facto do encaminhamento poder não ser simétrico. Para tal, utiliza um algoritmo de monitorização e avaliação da qualidade existente entre cada dois nós, que recorre a um valor limite bem definido para a distância máxima de monitorização das ligações existentes a partir de um determinado dispositivo de monitorização (*beacon*), como forma de cingir a monitorização a áreas de análise com menor dimensão e melhor definidas. Esta técnica possibilita assim uma redução do volume de tráfego e uma melhoria em termos de precisão das medidas obtidas através de um maior controlo da área de acção dos dispositivos de monitorização.

Num cenário real não é possível assumir que o caminho seguido pelos pacotes na rede é simétrico. Para além deste facto, existe ainda a possibilidade de pacotes pertencentes ao mesmo fluxo poderem seguir caminhos diferentes. Estas situações tornam por vezes necessária a utilização de mecanismos que permitam avaliar a qualidade de serviço com base em análises unidireccionais.

Em [6] é apresentada uma solução comercial designada por *Saturne*, que permite medir o atraso unidireccional e a taxa de perda de pacotes entre dois pontos de forma activa fim-a-fim. A plataforma *Saturne* tem em consideração as diferentes classes de serviço e permite avaliar a qualidade de serviço obtida pelos pacotes através da rede, tendo sido utilizada na rede experimental francesa de alta velocidade: VTHD (*Vraiment Très Haut Débit*). A sincronização entre os pontos de medição é crucial, daí que seja usado o sistema GPS (*Global Positioning System*) para salvaguardar possíveis desfasamentos de tempo. As medições do atraso utilizando a plataforma *Saturne* são efectuadas considerando a diferença de tempos entre o instante de chegada dum pacote de teste ao terminal destino e o valor do *timestamp* desse mesmo pacote, definido imediatamente antes da sua transmissão a partir do terminal origem.

As técnicas de monitorização activa não são apenas utilizadas para obter informação relacionada com as taxas de perdas e o atraso existente na rede. Outra métrica frequentemente estimada utilizando monitorização activa é a largura de banda disponível (definida como o máximo *throughput* que é possível fornecer num determinado percurso a um novo fluxo de dados sem reduzir o *throughput* do tráfego já existente). Devido ao facto da largura de banda disponível variar de acordo com o tráfego existente em cada instante, é necessário que o método utilizado para estimar esta métrica seja simultaneamente rápido, exacto e leve, no que diz respeito à quantidade de tráfego de teste que introduz na rede.

As soluções existentes para estimar a largura de banda podem classificar-se em: PGM (*Probe Gap Model*) ou PRM (*Path Rate Model*).

As soluções PGM utilizam modelos estatísticos de tráfego e estimam a largura de banda disponível com base em fórmulas construídas a partir do tempo de espera na transmissão e envio de pacotes, da largura de banda associada a condições de *bottleneck* e de outros parâmetros relacionados. O *Spruce* ([7]) permite estimar a partir do terminal, a largura de banda disponível com base na diferença entre a capacidade da ligação e a taxa de chegada de pacotes à região de *bottleneck* utilizando pares de pacotes de teste. Esta técnica é simples e leve em termos da quantidade de tráfego de teste que introduz na rede. A ferramenta *AbwE* ([8]) baseia-se numa técnica de dispersão de pares de pacotes de teste com tamanho fixo, como forma de detectar súbitas variações da largura de banda disponível causadas por alterações no encaminhamento ou por situações de congestionamento da rede.

As soluções PRM analisam o comportamento da rede face ao envio de pacotes de teste utilizando diferentes taxas de transmissão. A solução *pathChirp* ([9]), utiliza o conceito de congestionamento auto-induzido para estimar a largura de banda disponível. Para tal, envia um conjunto (“*chirp*”) de pacotes de teste com um padrão de transmissão exponencial bem definido e efectua uma análise estatística no receptor. Uma vez que a estimativa é efectuada apenas com base na análise dos tempos de chegada dos pacotes, não existem grandes requisitos no que respeita à sincronização entre emissor e receptor. Em [10] é apresentada outra solução do tipo PRM que permite obter um maior grau de precisão nas medições à custa dum ligeiro aumento do *overhead* quando comparada com *pathChirp*. As medições são efectuadas de forma activa utilizando o tempo entre pacotes e tendo por base, o conceito de congestionamento auto-induzido. Ao contrário das soluções anteriores, neste método, as taxas de transmissão de pacotes de teste são incrementadas passo a passo e um novo critério de decisão NWID (*Normalized Weighted Increased Delay*) é definido. A obtenção da estimativa da largura de banda disponível é feita utilizando apenas uma medida sendo a decisão adoptada do tipo *sliding-window*.

Vários estudos têm sido realizados com o objectivo de avaliar a exactidão de várias soluções de monitorização activa existentes utilizando cenários reais e não plataformas de teste locais. Um desses estudos ([11]) tem como cenário de teste a Internet e apresenta a particularidade de utilizar métodos passivos juntamente com outros mecanismos geradores de tráfego, como ferramentas de análise da exactidão dos resultados fornecidos por várias técnicas de monitorização activas num ambiente mais próximo do cenário real de aplicação dessas técnicas. A utilização de tais mecanismos tem a vantagem de permitir correlacionar os resultados obtidos com as condições da rede e tráfego actuais.

2.1.2 Soluções para monitorização passiva

As técnicas de monitorização passiva não apresentam a desvantagem das técnicas de monitorização activa relacionada com o tráfego adicional colocado na rede, uma vez que apenas analisam o tráfego existente sem introduzir quaisquer pacotes de teste.

São várias as soluções existentes para monitorização passiva, como por exemplo: *NeTraMet* ([12]) ou *NetFlow* ([13]).

Em [14] é apresentado um método não intrusivo para monitorização da qualidade de serviços VoIP utilizando métricas de desempenho da rede. Esta solução utiliza um mecanismo de monitorização passivo para determinar a qualidade existente na rede. Este procedimento de análise da rede deriva do facto da qualidade dos serviços VoIP depender dos valores de várias métricas de desempenho da rede, como por exemplo, perda de pacotes, latência e variações do atraso. Esta solução ([14]) trabalha em conjunto com a recomendação ITU-T P.862 "PESQ", a qual tem em consideração as diferentes características dos produtos *VoIP-gateway* (como o algoritmo PLC (*Packet Loss Concealment*), as características da interface analógica e o atraso codificado dos pacotes) durante o processo de monitorização. Esta característica constitui a principal diferença relativamente a outras soluções existentes como o *VQmon* ([15]) que, apesar de permitir uma estimativa da qualidade de voz baseada em métricas de desempenho obtidas tanto a partir da rede como do terminal e considerar a degradação nos próprios terminais, é incapaz de fornecer quaisquer indicações a esse respeito, o que pode afectar a exactidão dos resultados obtidos. À solução [14] está associado um algoritmo de monitorização da qualidade, utilizado para obter métricas de desempenho do terminal e da rede (taxa de perda de pacotes, atraso,...). Posteriormente essas métricas são utilizadas para estimar parâmetros intermédios (taxa total de pacotes perdidos no terminal e na rede, padrão de perda de pacotes) que por sua vez servem de base à estimativa subjectiva do índice de qualidade de recepção baseado no LMOS (*Listening Mean Opinion Score*) e do atraso da transmissão. A existência de uma tabela de calibração, construída com base nos valores PESQ obtidos para várias combinações de valores associados aos parâmetros intermédios, permite mapear os parâmetros intermédios com os valores de qualidade de recepção e atraso de transmissão associados a um determinado produto *gateway* VoIP, e assim fornecer uma função de cálculo específica devidamente adequada às características do equipamento utilizado. O grau de exactidão desta solução em termos da estimativa da qualidade de voz e atraso na transmissão face ao obtido utilizando o *VQmon*, demonstra a validade da solução apresentada no que respeita à monitorização de serviços VoIP.

Com o objectivo de aumentar o nível de segurança e a privacidade na transferência de informação, foram desenvolvidos mecanismos (como o *IPsec* [16]) de encriptação ao nível da camada IP. Esta nova realidade gerou a necessidade de novas técnicas de monitorização passiva capazes de analisar tráfego encriptado. Em [17] é apresentada uma dessas técnicas de monitorização passiva que permite estimar o RTT associado a comunicações em tempo real encriptadas ao nível IP. Esta técnica envolve a utilização de dados recolhidos ao nível da rede,

como o tamanho e tempo entre pacotes (para inferir eventos específicos), a agregação das medidas ao longo de curtos períodos de tempo e correlação de ligações como forma de estimar o valor do RTT para os percursos considerados de interesse.

2.1.3 Soluções para monitorização activa e passiva

Para além das soluções apresentadas anteriormente, existem ainda soluções que utilizam os dois tipos de monitorização em conjunto com o objectivo de combinarem as vantagens de ambas as técnicas e assim melhor caracterizarem a rede.

Em [18] é apresentada uma dessas soluções. Neste caso específico a rede é dividida em duas partes (*wireless* e *wired*) e é utilizada monitorização activa e passiva, juntamente com um mecanismo dinâmico para a janela de tempo e filtros ajustáveis, para recolher informação proveniente de ambas as secções da rede. Adicionalmente é ainda analisado qual o tipo de informação necessária para suportar as diferentes aplicações. A utilização de ambos os tipos de monitorização está relacionada com o facto de não ser possível, apenas com monitorização passiva, estimar correctamente em ambientes *wireless*, a qualidade da rede através da comparação dos resultados obtidos por diferentes terminais. Isto resulta do facto de cada um desses terminais possuir uma localização distinta sujeita a diferentes níveis de sinal e formas de interferência, o que torna o resultado de tal comparação questionável.

O mecanismo dinâmico para a janela de tempo e filtros ajustáveis permitem detectar mudanças relacionadas com as características da rede e seleccionar as medidas que devem ser utilizadas para estimar essa variação.

Ambos os tipos de monitorização são suportados por um servidor EXPAND (*Extended Passive Monitoring Server*) utilizado como fonte de informação relacionada com a parte *wired* da rede e como elemento activo na troca de pacotes de teste com os terminais móveis tendo em vista a estimativa da qualidade na secção *wireless* da rede.

Outra solução, designada por CoMPACT (*Change-of-Measure based Passive/Active Monitoring*), utilizada para estimar o atraso é apresentada em [19] e [20]. Esta técnica de monitorização QoS baseia-se numa *framework* que possibilita a adaptação do tipo de medições a efectuar. Esta solução é considerada uma técnica de monitorização activa transformada, pelo facto de também recorrer a informação obtida de forma não intrusiva. O método apresentado estima a qualidade da ligação recorrendo a técnicas de monitorização activa para a obtenção periódica de medidas de desempenho da rede, às quais estão associadas métodos passivos para determinar a variação do volume de tráfego verificado entre os vários instantes de medição.

Para além de permitir obter informação de QoS com um bom nível de detalhe, esta técnica apresenta ainda boas indicações quer em termos de escalabilidade, quer no que respeita aos seus impactos no normal funcionamento da rede, já que permite obter estimativas com um bom nível de exactidão utilizando um reduzido número de pacotes de teste.

2.2 Medição de desempenho em ambientes *wireless*

O crescimento das redes *wireless* tem favorecido o aparecimento de diversas soluções de monitorização específicas para este tipo de ambiente.

Em [21] são apresentadas as vantagens da utilização de medidas *wireless* na captura das características do respectivo meio e na análise dos impactos dessas mesmas características no modelo de tráfego existente. Para além de fornecer informação mais detalhada do que aquela proveniente de medidas obtidas na sub-rede *wired* (associada às camadas de nível 1 e 2), este tipo de monitorização *wireless* permite identificar as causas relacionadas com atrasos e perdas fim a fim detectadas, de forma bastante eficiente utilizando monitorização passiva. A perda de tramas é considerada o principal problema relacionado com o processo de captura de pacotes em ambientes *wireless*. Mais concretamente, podem existir alguns problemas relacionados com a captura de certos tipos específicos de pacotes: além disso, as tramas geradas por determinados pontos de acesso podem também não ser todas elas capturadas. Os resultados presentes em [21] demonstram ainda que o nível de sinal e as diferentes características do *hardware* utilizado (placas de rede *wireless*, antenas) constituem os principais factores de variação em termos de perda de tramas e atrasos fim a fim verificados entre o terminal e o ponto de acesso.

Em [22] é apresentado um estudo relacionado com métodos de monitorização para WLANs (*Wireless Local Area Networks*), onde são particularmente analisadas as vantagens resultantes da utilização de informação relacionada com a localização do utilizador ou terminal. Uma das principais vantagens da correlação dessa informação está relacionada com a possibilidade de geração de mapas de cobertura e qualidade. São ainda abordados os principais problemas característicos das redes *wireless* relacionados com a grande dependência em termos de desempenho relativamente às características do meio físico, e avaliado o impacto dessa mesma dependência em actividades de gestão e monitorização de desempenho da rede. De acordo com [22], a monitorização na sub-rede *wireless* pode ser feita utilizando entidades de monitorização dedicadas ou integrando a funcionalidade de monitorização na interface *wireless* do ponto de acesso. Desta forma, é possível capturar tramas (incluindo cabeçalhos da camada de rede) trocadas entre o ponto de acesso e os nós móveis, e obter informação, a partir da interface *wireless*, relacionada com os níveis de sinal e de ruído verificados. Nesta abordagem são ainda considerados os problemas relacionados com a falha na captura de alguns pacotes resultantes do facto do terminal estar fora de alcance, ou de estes serem provenientes de terminais que se encontram fora do raio de acção do ponto de acesso. É igualmente assinalada a importância da correcta determinação do número e localização desses mesmos pontos de acesso - infra-estrutura óptima - para a obtenção de bons níveis de qualidade juntamente com os benefícios que daí advêm.

2.3 Análise de algumas soluções mais relevantes

Nesta secção são apresentadas com maior pormenor algumas das soluções existentes actualmente para medição de QoS. O principal critério de escolha destas soluções esteve relacionado com a adequabilidade das mesmas em relação ao trabalho realizado no âmbito desta dissertação, de forma a ser possível analisar a viabilidade de determinadas ideias e procedimentos, e estudar possíveis melhoramentos em relação a cada uma das técnicas expostas. Uma das soluções apresentadas (ArQoS) permite ainda, analisar o tipo de produtos que estão actualmente a ser desenvolvidos nesta área pelas empresas de telecomunicações.

2.3.1 Mobile QoS Agents

Um dos métodos analisados para a recolha das métricas de QoS utiliza MQAs (*Mobile QoS Agents*) ([23]) instalados em telefones móveis. Um MQA é descrito como um módulo de *software* que é executado num terminal móvel com o objectivo de efectuar medições relacionadas com a qualidade do serviço. Os MQAs estão próximos dos utilizadores finais, o que possibilita uma análise bastante exacta da QoE percebida pelo utilizador.

O facto de os MQAs permitirem monitorizar a qualidade de vários tipos de serviços multimédia e o desempenho relacionado com a interferência rádio tendo em consideração a posição em que o terminal se encontra, reduz a necessidade dos tradicionais testes no terreno (conhecidos por “*drive and walk tests*”). Para além de serem uma ferramenta importante para os MNOs (*Mobile Network Operators*), os MQAs são também uma solução interessante para os MVNOs (*Mobile Virtual Network Operators*) uma vez que permitem que estes sejam capazes de monitorizar a qualidade de serviço da rede sem terem que aceder à infra-estrutura da mesma.

As responsabilidades dum MQA incluem: a medição de QoS associada a serviços multimédia em ambientes móveis sob o ponto de vista do utilizador através da utilização de determinado tipo de contadores, como por exemplo, número de activações PDP (*Packet Data Protocol* [24]) e tempos de activação, tempo de *setup* dos serviços, quantidade de informação recebida (em *bytes* e em número de pacotes), o *throughput* médio (relativo ao *download* de informação), a medição dos parâmetros rádio, a elaboração e comunicação de estatísticas de desempenho a servidores centrais de gestão com caracterização do cenário onde as medições são efectuadas (informação temporal, de localização - *cell ID* - e de posicionamento – *Global Position System* - GPS).

Os MQAs podem efectuar medições activas e/ou passivas. Nas monitorizações activas, o MQA inicia diferentes tipos de serviços e grava o desempenho associado a cada um deles em determinados instantes de tempo pré-estabelecidos. No caso das monitorizações passivas, o MQA apenas observa os serviços iniciados pelo utilizador final, e todas as medições por ele efectuadas têm por base unicamente esses serviços.

Os MQAs são também configurados com um conjunto de limiares para diferentes tipos de medidas, os quais permitem que seja gerado um alarme sempre que esses limites sejam ultrapassados.

A relação existente entre os vários elementos funcionais de um MQA encontra-se representada na figura 1.

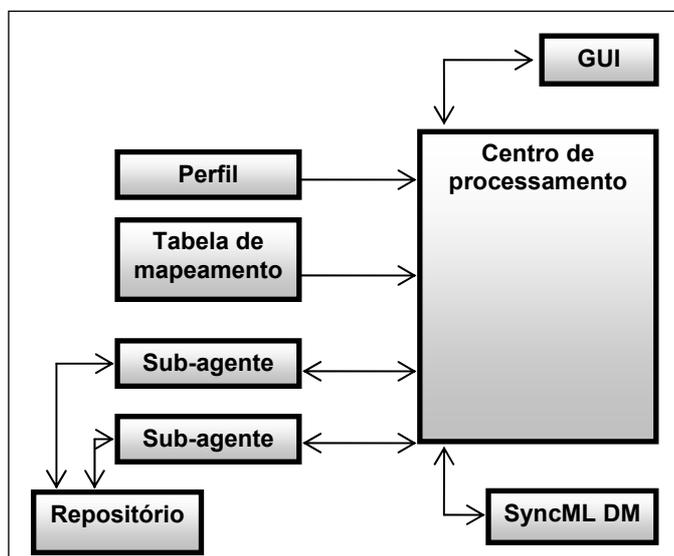


Figura 1 - Constituição do MQA

O centro de processamento é o elemento central, responsável pela coordenação de todas as actividades. A análise dos comandos recebidos utilizando o protocolo de gestão de dispositivos SyncML DM (*Synchronization Markup Language Protocol for Device Management* – [25]) e a programação e activação dos sub-agentes de acordo com o tipo de serviço a ser monitorizado, são apenas algumas das actividades por si desempenhadas. Quando um MQA é activado, o centro de processamento analisa a tabela de mapeamento entre serviços e sub-agentes. Em seguida é identificado o perfil (o qual contém todas as instruções relacionadas com a monitorização de cada um dos tipos de serviço) que foi utilizado pela última vez, e é efectuada a listagem dos diferentes serviços a ser monitorizados com recurso à informação presente no repositório. Este elemento é responsável pelo armazenamento de dados relacionados com a identificação do agente e do perfil activo, e pela lista de serviços que estão de momento a ser monitorizados.

Algumas ideias associadas a esta arquitectura, principalmente a utilização de elementos de monitorização próximos dos utilizadores e a existência de diferentes perfis de monitorização para diferentes tipos de serviço, são pontos relevantes para a fase de especificação do trabalho realizado nesta dissertação. Apesar da vantagem associada à exactidão em termos da caracterização do nível de QoE percebido por cada um dos utilizadores devido ao facto dos elementos de medida estarem instalados nos terminais móveis, existem aspectos relacionados com a escalabilidade desta solução que poderão ser problemáticos caso não sejam devidamente analisados. Questões como, “A quem serão reportadas as medições efectuadas?”, “Como deverá

ser conjugada a informação proveniente de diferentes elementos?” e “Como utilizar estes dados para melhorar as condições actuais?” são alguns dos aspectos importantes a ter em conta durante a realização deste trabalho, e que poderão constituir pontos de interesse para futuros trabalhos de investigação.

2.3.2 Método de monitorização não intrusivo para serviços em tempo real

Esta solução permite monitorizar serviços de telecomunicações em tempo real com base em dois parâmetros: *invalid packet ratio* e *invalid frame ratio* [26]. Esta técnica, que permite determinar o grau de afectação da qualidade da voz e vídeo, assenta em três entidades, responsáveis por estimar parâmetros de qualidade intermédios, reportar esses parâmetros de qualidade e estimar a QoS fim a fim. A figura 2 ilustra esta mesma técnica.

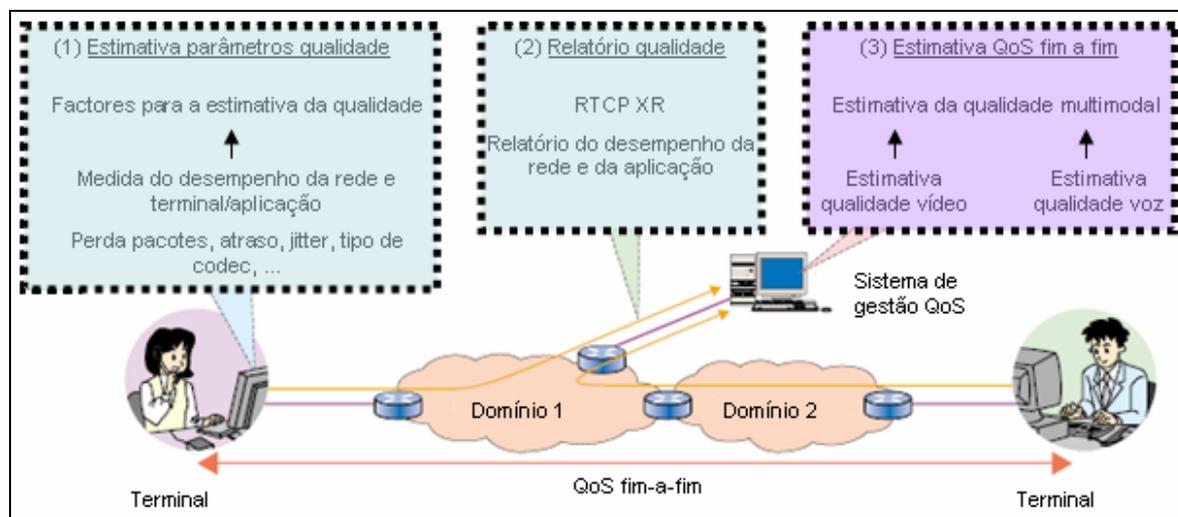


Figura 2 - Monitorização e estimativa não intrusiva de QoS

Este método realça a existência de uma correlação entre a QoS fim a fim e a quantidade de informação perdida na rede e nos terminais/aplicações. A estimativa da quantidade de informação perdida é feita, em parte, através da análise das medidas de desempenho da rede recorrendo ao parâmetro *invalid packet ratio*, o qual é definido como a percentagem de pacotes perdidos e atrasados em relação ao total de pacotes enviados. Os valores deste parâmetro são calculados considerando diferentes tamanhos de *buffer* para o *jitter* no terminal (*buffer* esse que contém todos os pacotes que não foram classificados como perdidos ou atrasados). De seguida, uma curva de regressão MOS (*Mean Opinion Score*) versus *invalid packet ratio* é então calculada e utilizada para estimar a QoS. Desta forma, é possível gerir eficientemente o desempenho da rede considerando a QoS fim a fim, uma vez que não é necessário que os gestores de rede efectuem uma avaliação subjectiva da qualidade para cada uma das redes.

A figura 3 apresenta alguns resultados que permitem verificar a utilidade do parâmetro *invalid packet ratio*, tomando como comparação os resultados obtidos utilizando o parâmetro relacionado com a taxa de perda de pacotes.

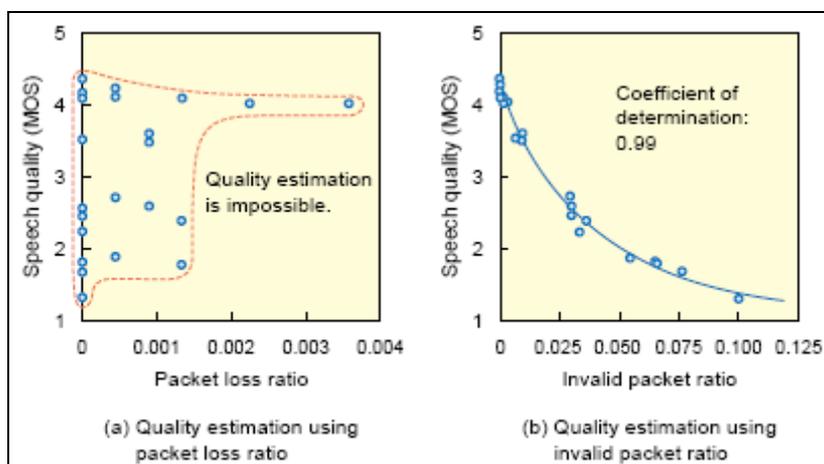


Figura 3 - Comparação dos resultados obtidos para a qualidade utilizando métodos baseados em: *packet loss ratio* (a) e *invalid packet ration* (b) (apresentada em [26])

Como se pode constatar na figura anterior, a utilização do parâmetro *invalid packet ratio* permite melhorar acentuadamente o grau de precisão das várias estimativas efectuadas relacionadas com a determinação do nível de qualidade para serviços de voz.

Existem alguns casos para os quais a utilização do *invalid packet ratio* conduz a uma degradação da qualidade em múltiplas tramas de vídeo cuja duração depende do tipo de imagem. Para resolver este problema é utilizado o parâmetro *invalid frame ratio* que é definido como o número de tramas degradadas a dividir pelo número total de tramas. A melhoria resultante pode ser constatada na figura 4.

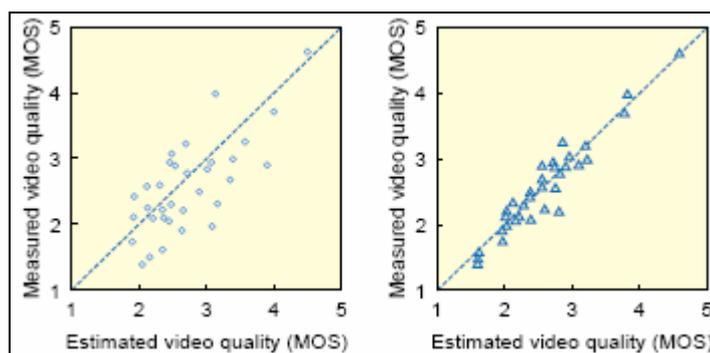


Figura 4 - Melhoria resultante da utilização do parâmetro *invalid frame ratio* (apresentada em [26])

À semelhança da figura 3, também aqui é possível verificar uma melhoria significativa em termos da precisão associada às várias estimativas relacionadas com a determinação do nível de qualidade para serviços de vídeo.

O facto deste método ser não intrusivo (característica partilhada com os módulos desenvolvidos ao longo deste trabalho) e utilizar monitorização passiva para analisar o nível de

qualidade associado a vários tipos de serviços de voz e vídeo é, por si só, vantajoso uma vez que a sua aplicação não está dependente do nível de ocupação da rede.

Apesar desta técnica apresentar aparentemente um nível de precisão bastante aceitável para as várias estimativas obtidas, a natureza subjectiva dessas mesmas estimativas (obtidas recorrendo a informação do tipo MOS) não deixa de ser um factor crítico e como tal, deve ser tido em consideração durante a avaliação do grau de exactidão dos resultados fornecidos por esta solução.

2.3.3 ArQoS

Uma outra solução existente actualmente é o ArQoS ([27] e [28]) desenvolvido pela PT Inovação. Esta solução permite ao operador efectuar manutenção preventiva, salvaguardar o cumprimento dos objectivos relacionados com os SLAs (*Service Level Agreements*) que estiveram na base da concessão de licenças de operação e que resultaram de posteriores acordos com outros operadores (*roaming*, PSTN, ...), e ensaiar o impacto relacionado com a introdução de novos serviços através da análise da operacionalidade da rede após as alterações previstas. A solução ArQoS é também adequada para inferir a QoS fim a fim, possibilitando desta forma a análise do comportamento da rede face a cada um dos diferentes tipos de serviço sob o ponto de vista do utilizador.

Uma representação esquemática relacionada com a utilização do ArQoS é apresentada na figura 5.

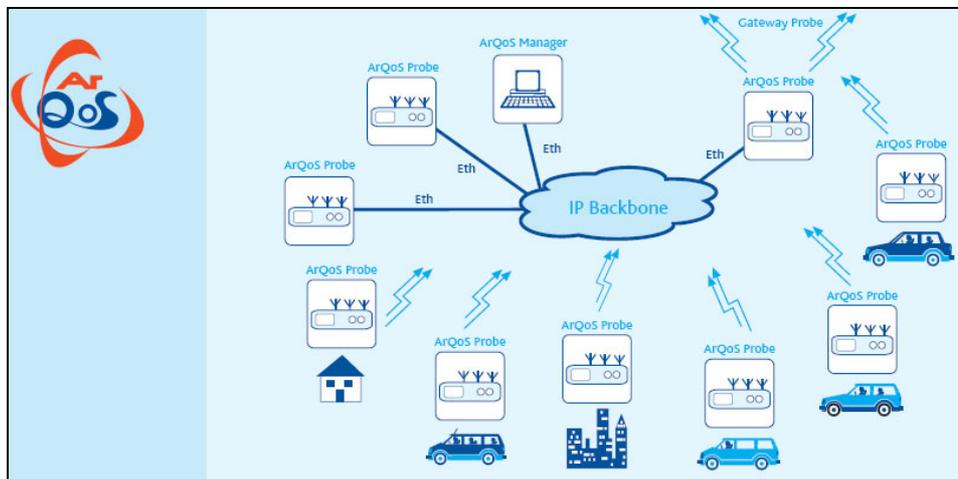


Figura 5 - Cenário genérico de utilização da solução ArQoS (apresentada em [27])

Uma das características desta solução é a utilização de *probing* activo, o que permite que o operador efectue ligações de prova usando diversos tipos de tecnologias de rede, para recolher e posteriormente analisar parâmetros de QoS. Esta ferramenta permite também a realização de testes de interoperabilidade entre diferentes tipos de redes. A precisão dos resultados é garantida através da utilização de um receptor GPS em cada uma das *probes* ArQoS.

Existe ainda um mecanismo de gestão das diversas *probes* (as quais podem ser também aplicadas em pontos móveis) envolvidas, que assenta numa ligação IP estabelecida entre o gestor ArQoS e cada uma dessas *probes*. Esse gestor ArQoS permite a criação e execução de vários tipos de testes, a introdução de alarmes, e uma análise detalhada dos parâmetros recolhidos. Para além destas funcionalidades, o gestor ArQoS possibilita ainda uma actualização remota do *software* e *hardware* das *probes*.

As principais vantagens desta solução estão relacionadas com a grande diversidade em termos de tipos de métricas que são possíveis obter utilizando estas *probes*, e com a utilidade desta solução sob o ponto de vista dos operadores de telecomunicações.

No entanto, o facto desta técnica utilizar *probing* activo para reunir a informação necessária para a caracterização da qualidade da rede, pode restringir a sua aplicabilidade nas situações em que o nível de ocupação da rede é elevado, uma vez que a introdução de tráfego de teste poderá ser incomportável tendo em conta o elevado volume de tráfego verificado. Igualmente, o processo de sincronização poderá conduzir a algumas dificuldades de correlação das actividades das diferentes *probes*, caso não seja devidamente implementado.

Aspectos como a utilização de alarmes e possibilidade de uma análise detalhada dos diversos tipos de parâmetros recolhidos constituem pontos de interesse, passíveis de serem considerados neste trabalho.

2.4 Medição de QoS e estimativas de QoE

As técnicas de monitorização utilizadas dependem das características das redes e serviços. Uma possibilidade para estimar o desempenho e detectar falhas na rede consiste na utilização de 'pontas de prova'. Estes mecanismos podem funcionar como elementos dinâmicos ou estáticos caso giram ou não tráfego destinado à obtenção de medidas de desempenho. Utilizando elementos activos é possível efectuar medições de uma forma mais controlada e replicável mesmo quando não existe tráfego real na rede. Apesar dos elementos passivos serem por vezes um pouco mais limitados, devido ao facto de apenas utilizarem o tráfego existente para efectuar a análise de qualidade, podem ser aplicados a um maior número de situações incluindo casos limite em que a quantidade de tráfego existente impossibilita a introdução de elementos activos.

A estimativa da QoS e QoE não é um processo estático. A existência de diferentes tipos de serviços e aplicações que apresentam diferentes requisitos em termos de atrasos e perdas, faz com que seja necessário ajustar o procedimento de estimativa da qualidade de modo a dar maior ou menor importância a cada uma dessas componentes de forma a retratar correctamente a QoE percebida pelo utilizador final.

A recomendação G.1010 ([29]) define um modelo para as categorias de QoS multimédia sob o ponto de vista do utilizador final que deve ser tido em conta sempre que seja necessário definir diferentes classes de QoS. Essas categorias, que permitem determinar a tolerância de

diferentes tipos de serviço à perda de informação e ao atraso, encontram-se representadas na figura 6.

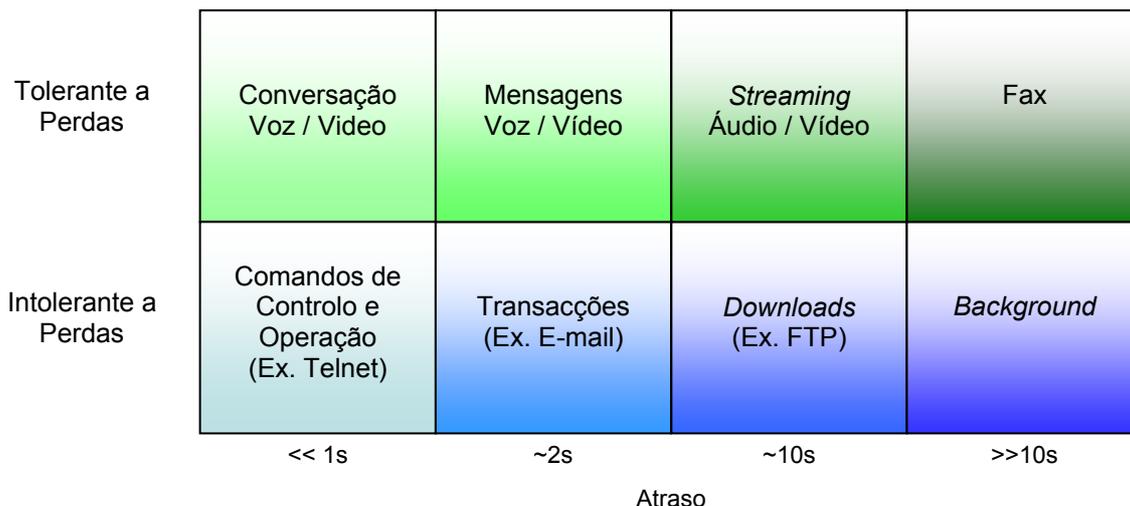


Figura 6 - Modelo para as categorias de QoS multimédia (1)

De acordo com o modelo definido é possível verificar que as aplicações em tempo real são extremamente dependentes do atraso. Apesar de necessitar de elevados requisitos em termos de atraso, este tipo de serviço é capaz de suportar taxas de perdas moderadas sem que a qualidade seja muito afectada. Isto resulta do facto do ouvido humano ser tolerante a um determinado grau de distorção do sinal. Por vezes, em transmissões IP, a qualidade deste tipo de serviço fica aquém do esperado. Algumas das causas mais comuns são a utilização de baixas taxas de transmissão e *codecs* inadequados tendo em conta as condições da rede.

É mais fácil fornecer uma melhor qualidade a serviços de *streaming* do que a serviços de conversação em tempo real, dado que os primeiros permitem o armazenamento temporário dos dados para transmissão. Os serviços de *streaming* são menos exigentes no que respeita ao atraso, que não se revela tão problemático como no caso dos serviços em tempo real.

Para os serviços de transferência de dados, sob o ponto de vista do utilizador final, é importante garantir uma taxa de perdas tão baixa quanto possível (idealmente zero). Em termos de atraso é possível verificar através da análise do modelo apresentado que a importância deste factor varia conforme o tipo de transferência de dados. Enquanto que transferências de informação relacionadas com serviços de *telnet* e HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) requerem geralmente valores baixos para o atraso, o mesmo já não se verifica para outro tipo de serviços como o FTP (*File Transfer Protocol*).

Uma representação alternativa do mesmo modelo encontra-se na figura 7.

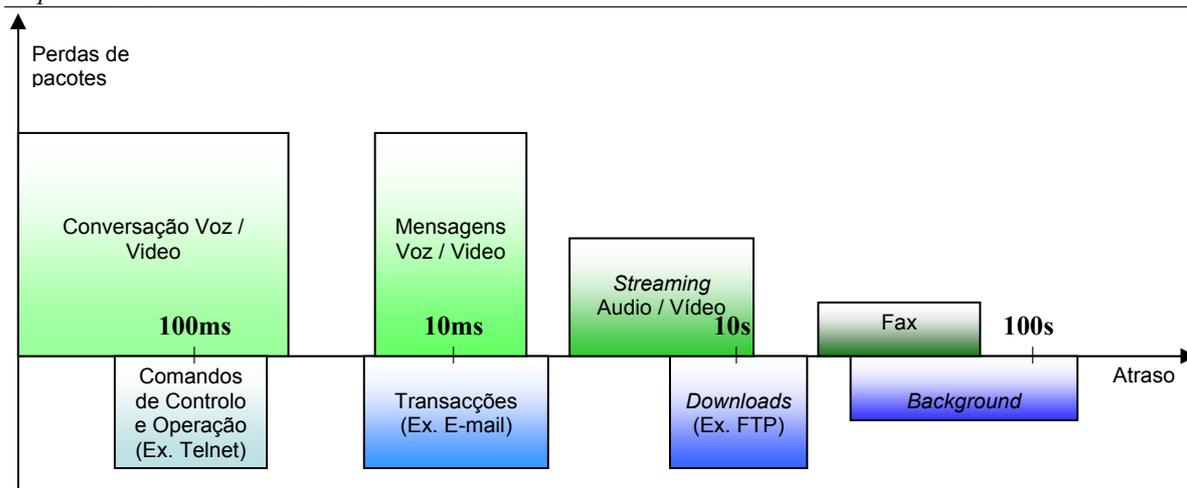


Figura 7 - Modelo para as categorias de QoS multimédia (2)

Para além da determinação do peso de cada um dos factores perdas e atraso, é igualmente importante analisar quais os valores recomendados para cada um destes factores para os diferentes tipos de serviço.

Utilizando a mesma recomendação G.1010 foi possível reunir alguns valores de referência para caracterizar as condições ideais para cada um dos principais tipos de serviço.

Os valores sugeridos encontram-se presentes nas tabelas 1 e 2.

Tipo de Serviço	Taxa de transferência (típica)	Atraso (recomendado)	Variação do atraso (recomendado)	Perdas (recomendado)
Comunicação tempo real	4 - 64 kbit/s (audio)	<150 ms ideal <400 ms limite	< 1ms	<3% PLR
	16 - 384 kbit/s (video)	<150 ms ideal <400 ms limite	NA	<1% PLR
Streaming	16 - 128 kbit/s (audio)	<10 s	<< 1ms	<1% PLR
	16 - 384 kbit/s (video)	<10 s	NA	<1% PLR

Tabela 1 - Valores recomendados para diferentes tipos de serviço (1)

Tipo de Serviço	Quantidade de informação (típica)	Atraso (recomendado)	Variação do atraso (recomendado)	Perdas (recomendado)
Dados	~ 10KB (Web-Browsing)	< 2s/pág ideal < 4s/pág aceitável	NA	Zero
	< 1KB (telnet) (Jogos interactivos)	<200 ms	NA	Zero
	10KB - 10MB (Bulk data transfer)	<15 s ideal <60 s aceitável	NA	Zero

Tabela 2 - Valores recomendados para diferentes tipos de serviço (2)

Com base nos resultados de experiências apresentadas por membros do DSL *forum* ([30]) em [31], efectuadas com o objectivo de determinar os níveis mínimos de QoE recomendados para aplicações *triple-play* fornecidas através de uma infra-estrutura *broadband*, foi possível analisar os valores sugeridos pela recomendação G.1010.

Para a obtenção dos requisitos em termos de QoE para os diferentes tipos de serviço, foram utilizadas:

- Técnicas de análise subjectivas baseadas na opinião dos utilizadores acerca da qualidade áudio/vídeo.
- Técnicas de análise objectivas, das quais fazem parte técnicas baseadas em:
 - Modelos de percepção humana da qualidade;
 - Parâmetros de sinal vídeo;
 - Parâmetros indicadores de problemas na rede.

Para os serviços de comunicação em tempo real e *streaming*, os valores recomendados estão, em termos relativos, de acordo com o tipo de serviço ao qual estão associados. Os serviços de *streaming* apresentam maior tolerância em atraso mas são geralmente mais limitativos em termos de perdas quando comparados com os serviços de comunicação em tempo real.

Em termos absolutos, as experiências referidas anteriormente não colocaram em causa os valores apresentados uma vez que, por exemplo no caso dos serviços de comunicação áudio em tempo real foi comprovado que perdas inferiores a 3%PLR e atrasos menores que 150ms não têm quaisquer impactos em termos de qualidade sob o ponto de vista do utilizador.

Relativamente aos serviços de dados, foi verificado que o grau de exactidão dos vários valores recomendados depende em grande parte, do tipo de serviço de dados considerado. Enquanto que os atrasos recomendados para *web-browsing* estão alinhados com os resultados apresentados pelo DSL *forum*, já os valores recomendados para os tempos associados a comandos de controlo e jogos interactivos são demasiado elevados. Outra limitação desta recomendação relativamente aos serviços de dados, reside no facto de não serem fornecidas quaisquer indicações relacionadas com o tempo de variação da resposta.

Apesar de algumas limitações terem sido detectadas, a recomendação G.1010 não deixa de constituir um importante ponto de partida para a definição dos objectivos de desempenho. O facto dos requisitos de qualidade para os diferentes tipos de serviço serem sucessivamente ajustados em resultado de análises de QoE cada vez mais detalhadas e exactas, faz com que se torne necessária uma revisão periódica dos vários modelos e considerações previamente efectuadas.

2.5 Sumário

Neste capítulo foram apresentadas diversas soluções existentes para monitorização da qualidade da rede. Numa primeira fase foram analisadas técnicas associadas a diferentes tipos de

monitorização e algumas soluções para a estimativa de desempenho em redes *wireless* de modo a evidenciar a grande diversidade de soluções existentes. Foram igualmente analisadas, de forma mais pormenorizada, outras soluções consideradas importantes tendo em conta o trabalho realizado, onde foram discutidas as vantagens e desvantagens de cada uma dessas técnicas juntamente com o seu possível contributo para o trabalho desta dissertação.

Por fim, foram apresentados e analisados dados relacionados com os valores recomendados para algumas das principais métricas utilizadas na definição dos vários níveis de QoE para diferentes tipos de serviços.

Capítulo 3

Monitorização e estimativa da qualidade da ligação

Após a apresentação e análise de algumas técnicas de monitorização, foi necessário definir a solução a ser desenvolvida para a monitorização e estimativa da qualidade da rede.

Com o objectivo de assegurar um determinado nível de rigor relativamente aos resultados obtidos utilizando esta solução, ficou definido que a monitorização da rede seria efectuada recorrendo à informação obtida a partir de diferentes camadas, mais concretamente, seriam analisadas as camadas de nível 2 (para a recolha de informação relacionada com a qualidade da ligação *wireless*, nível de sinal e de ruído) e nível 3 (para a obtenção de informação relacionada com os protocolos TCP e RTP). Após a obtenção de todos estes tipos de informação, seria então necessário relacionar todos os dados recolhidos de forma a caracterizar a qualidade geral da ligação.

Neste capítulo são apresentados os vários procedimentos relacionados com o desenvolvimento de cada um dos sub-módulos utilizados para monitorizar a actividade do terminal tendo em vista a caracterização da qualidade da ligação do terminal móvel à rede. São também descritos os procedimentos que foram directa ou indirectamente necessários para a estimativa dos diferentes factores de qualidade utilizados na estimativa da qualidade geral da ligação.

Este capítulo está organizado da seguinte forma:

- **Secção 3.1:** Nesta secção são apresentadas as alternativas consideradas e descrito o procedimento adoptado relacionado com o desenvolvimento do módulo para monitorização das ligações TCP.
- **Secção 3.2:** Nesta secção é apresentado o procedimento utilizado no desenvolvimento do módulo para monitorização das ligações RTP.
- **Secção 3.3:** Nesta secção é apresentado o procedimento utilizado para a obtenção da informação relacionada com a camada de nível 2.
- **Secção 3.4:** Nesta secção são apresentadas as melhorias introduzidas relacionadas com o procedimento de interacção entre os módulos desenvolvidos e com a introdução de novas funcionalidades.
- **Secção 3.5:** Nesta secção são descritas as actividades relacionadas com o cálculo dos vários factores de qualidade, do nível de ocupação da rede e da estimativa da qualidade geral da ligação.
- **Secção 3.6:** Nesta secção são apresentadas as principais conclusões relativas a este capítulo.

3.1 Monitorização de ligações TCP

Nesta secção é apresentado o procedimento relacionado com o desenvolvimento do primeiro módulo que tem como objectivo monitorizar todas as ligações TCP do terminal (informação relacionada com o protocolo TCP disponível no 'Anexo A: O protocolo TCP').

Várias alternativas foram analisadas de modo a garantir o cumprimento dos principais requisitos associados a este módulo. Os requisitos definidos incluem a necessidade de ser um módulo não intrusivo, fácil de instalar e utilizar, e ser capaz de monitorizar todas as ligações TCP estabelecidas antes e após o início da sua execução.

3.1.1 Alternativas consideradas

Foram várias as abordagens consideradas para a implementação do módulo para a recolha e análise da informação dos pacotes TCP.

Numa primeira fase foi estudada a hipótese de utilizar o módulo de *software* apresentado na *linux gazette* ([32]) num artigo da autoria de *René Pfeiffer* ([33], [34] e [35]). Aparentemente seria interessante utilizar esta solução no âmbito deste trabalho devido à forma simples e eficaz apresentada para a recolha de vários parâmetros de interesse relacionados com o TCP. A abordagem apresentada é baseada na utilização de uma estrutura declarada na biblioteca *tcp.h* chamada *tcp_info*. Esta estrutura pode ser facilmente preenchida com informação obtida directamente a partir do *socket* utilizado na ligação, fazendo uso de uma das funções presentes na biblioteca *socket.h*. Após ser preenchida, é apenas necessário exportar cada um dos campos dessa estrutura para caracterizar de forma razoável o estado da ligação TCP. Os campos da estrutura *tcp_info* encontram-se disponíveis em anexo ('Anexo B: Estrutura *tcp_info*').

Contudo, este módulo tem algumas limitações. A mais restritiva dessas limitações é a necessidade de criar manualmente o *socket* o que limita a análise apenas a essa ligação. Esta limitação restringe a acção do módulo que deve ser não intrusivo e capaz de monitorizar todas as ligações TCP do terminal.

A segunda abordagem considerada consistia na utilização de um outro módulo já existente para monitorização de ligações TCP chamado *trafshow* ([36], figura 8).

Source	Destination	Protocol	Packets	PPS
ash-v117.ash.youtube.com,www	192.168.253.130,54768	tcp	5612	163
192.168.253.130,54768	ash-v117.ash.youtube.com,www	tcp	3120	81
bu-in-f91.google.com,www	192.168.253.130,59904	tcp	373	
192.168.253.130,59904	bu-in-f91.google.com,www	tcp	113	
192.168.253.2,domain	192.168.253.130,32787	udp	4	1
192.168.253.130,32787	192.168.253.2,domain	udp	4	1
192.168.253.130,32786	192.168.253.2,domain	udp	1	
192.168.253.1,netbios-dg	192.168.253.255,netbios-dg	udp	1	
192.168.253.130	bu-in-f91.google.com	tcp	1	
192.168.253.2,domain	192.168.253.130,32786	udp	1	
eth0	10 Flows	Total:	9230	246

Figura 8 - *Trafshow*

Este módulo apresenta um nível de complexidade bastante superior ao anterior. Com este módulo é possível activar um *daemon* e dessa forma monitorizar as ligações actualmente existentes e ainda todas as outras que entretanto forem estabelecidas. No entanto, a informação extraída tendo em vista a caracterização da qualidade da ligação e posteriormente das condições da rede é insuficiente. Além disso, dada a sua complexidade inerente, a introdução ou alteração de funcionalidades é difícil de realizar.

Outra abordagem recorria igualmente à estrutura *tcp_info* presente no ficheiro *tcp.h* para obter as estatísticas TCP directamente de cada um desses *sokets*. O elevado grau de complexidade face ao tempo disponível e a falta de informação relacionada com este tipo de procedimento foram os factores que conduziram à não utilização desta solução.

Sendo assim, a decisão recaiu sobre o desenvolvimento de um módulo para capturar os pacotes TCP e analisar os campos do seu cabeçalho para obter informação que permitisse caracterizar a qualidade de serviço.

Durante o processo de escolha não foi ignorado o facto desta solução já ter sido possivelmente utilizada em outros trabalhos. Contudo, uma vez que o principal ponto de interesse desta dissertação não está estritamente relacionado com a análise do protocolo TCP em si, mas sim com a análise e sobretudo com o correlacionamento de diferentes tipos de informação tendo em vista a caracterização da qualidade da ligação de forma não intrusiva a partir do terminal, a decisão recaiu sobre esta alternativa face às restantes hipóteses consideradas, atendendo ao seguinte conjunto de factores:

- Possibilidade de ser possível realizar uma análise detalhada dos pacotes TCP envolvidos tendo em conta a informação disponibilizada no seu cabeçalho;
- Transparência relacionada com o facto de não ser necessário criar ou conhecer os detalhes associados a cada um dos *sokets* existentes para cada uma das ligações estabelecidas;
- Uniformidade com o procedimento adoptado para a monitorização das ligações RTP (o qual se encontra descrito na secção 3.2 e cujo processo de especificação foi efectuado paralelamente).

3.1.2 Descrição do procedimento adoptado

A primeira parte da construção do módulo está relacionada com a captura de pacotes TCP transmitidos e recebidos pelo terminal. Para tal, são utilizadas as funções descritas na biblioteca *pcap.h* ([37]). Recorrendo a essas funções é possível definir e utilizar um filtro para separar os pacotes TCP de todos os outros tipos de pacotes.

Com o objectivo de dotar o programa de uma maior capacidade em termos de filtragem dos pacotes capturados, é introduzida a possibilidade de filtrar os pacotes por protocolo e por porto. Desta forma, é possível capturar apenas os pacotes TCP com origem e/ou destino em determinado porto. Esta funcionalidade é particularmente útil nos casos em que é necessária a

análise exclusiva de pacotes relacionados com determinados serviços que utilizam números de porto pré estabelecidos ou bem conhecidos (<http://www.iana.org>).

Uma vez efectuada a captura e confirmação de que, de facto, os pacotes capturados estão de acordo com as definições introduzidas aquando da criação do filtro, é efectuada a análise e processamento da informação presente no cabeçalho do pacote. Utilizando a estrutura do cabeçalho TCP presente no ficheiro *tcp.h* é possível obter o valor de cada um dos campos. Após a obtenção desses valores é desenvolvido o código para obtenção dos parâmetros de qualidade.

As métricas calculadas utilizando o cabeçalho dos pacotes são as seguintes:

- *Arrival / Departure Time*
- *Time since last received / transmitted packet*
- *Instantaneous download / upload speed estimation in pac/seg*
- *Total number SYN packets*
- *Total number of TCP packets sent*
- *Total number of TCP packets received*
- *Retransmissions*

Antes do cálculo da estimativa da velocidade instantânea é necessário determinar em que sentido circulam os pacotes, ou seja, se estão a ser transmitidos (*upload*) ou recebidos (*download*) pelo terminal, de forma a fornecer essa informação ao utilizador. Isso é possível através da comparação do endereço *localhost* com os endereços extraídos directamente do cabeçalho IP. De seguida tem lugar o cálculo da estimativa da velocidade. Para tal, é guardado o instante de chegada (ou partida conforme o sentido) do pacote e calculada a diferença de tempo em relação ao pacote anterior. Contudo, este procedimento revela-se de certa forma insuficiente, uma vez que os valores obtidos apresentam por vezes variações bruscas que tornam complicada a percepção do estado actual da ligação tendo em conta a velocidade. Tendo em vista minimizar esta variação e aumentar dessa forma a precisão dos valores obtidos com esta estimativa, o procedimento foi alterado de forma a serem consideradas as estimativas da velocidade calculadas para os dez pacotes anteriores. Apesar do cálculo continuar a basear-se na diferença entre o pacote actual e anterior, a inclusão destes dados históricos torna possível suavizar as variações bruscas que se faziam sentir com o procedimento anterior, tornando assim esta indicação mais correcta e ao mesmo tempo mais perceptível para o utilizador.

As retransmissões são um indicador de qualidade muito importante no caso do TCP. Através da análise desta métrica é possível verificar se a rede está a ser capaz de lidar com o volume de tráfego actual ou se, pelo contrário, está sobrecarregada e incapaz de fornecer a qualidade de serviço mínima às aplicações que estão a ser executadas.

Para o cálculo das retransmissões são analisados conjuntamente ambos os sentidos de transferência de dados. Considerando uma transferência de informação bidireccional entre duas entidades, uma simples análise do *sequence number* dos pacotes com origem no *localhost* é suficiente. Por outras palavras, sempre que um pacote transmitido pelo *localhost* possui o mesmo

sequence number que outro pacote anteriormente transmitido¹, significa que, ou o pacote de dados se perdeu antes de atingir o destino, ou a confirmação da chegada desse mesmo pacote não chegou ao *localhost*. De qualquer forma, o pacote é retransmitido e como tal o número de retransmissões é incrementado.

Como este módulo apenas utiliza informação retirada do terminal onde está a ser executado (*localhost*), não é possível determinar retransmissões de pacotes de dados perdidos no sentido *remotehost* → *localhost* sempre que a retransmissão desse pacote perdido ocorra antes do envio do pacote seguinte, uma vez que nesse caso, o *localhost* não tem forma de saber se esse pacote perdido e entretanto retransmitido já tinha sido ou não enviado. Com a excepção desta situação, é possível detectar as retransmissões de todos os pacotes de dados perdidos em ambos os sentidos, através da análise do *sequence number* dos pacotes de dados emitidos pelo *localhost*.

3.2 Monitorização de ligações RTP

Nesta secção é apresentado o procedimento relacionado com o desenvolvimento do segundo módulo que tem como objectivo monitorizar todas as ligações RTP do terminal (informação relacionada com o protocolo RTP disponível no 'Anexo C: O protocolo RTP').

Os requisitos definidos para este módulo são os mesmos do módulo anterior.

3.2.1 Descrição do procedimento adoptado

Tal como no caso anterior, este módulo baseia-se na utilização da biblioteca *pcap.h* como fonte das principais funções e estruturas utilizadas para a captura dos pacotes. É utilizado um filtro para pacotes UDP e a possibilidade de filtragem por porto é igualmente adaptada para ser aplicável a este tipo de pacotes. Tal como no caso TCP, é introduzida uma *callback function* que, tal como o nome indica, é invocada sempre que um novo pacote UDP é capturado. Esta função é responsável por analisar os primeiros *bytes* do *payload* do pacote UDP tendo em vista a detecção de pacotes RTP. Alguns dos *bytes* analisados correspondem, por exemplo, ao *payload type*, tendo em vista a identificação do tipo de dados transportado pelo pacote e consequentemente a detecção de pacotes RTCP. Após ser efectuada esta selecção dos pacotes UDP capturados, são obtidos os valores dos diversos campos do cabeçalho dos pacotes RTP e em seguida calculados os principais valores de interesse para determinar a qualidade da ligação.

Para o cálculo de alguns valores como o tempo em relação ao último pacote e a velocidade actual, é utilizado um procedimento idêntico ao descrito na secção anterior. Contudo, é necessário adaptar esse mesmo procedimento ao conceito de sessão inerente ao protocolo RTP.

¹ No processo de comparação foram considerados (por defeito) os últimos 50 pacotes analisados.

Para analisar correctamente a qualidade utilizando o protocolo RTP é necessário separar os pacotes por sessão. Como foi visto anteriormente, uma sessão pode ser constituída por um único ou vários fluxos com diferentes origens combinados pelo misturador.

A identificação das sessões é efectuada com base no valor do SSRC. Pacotes com diferentes SSRCs são associados a sessões distintas. Sempre que um pacote RTP é capturado, o valor do campo SSRC é analisado e, sempre que este valor é diferente dos recebidos até ao momento, é criada uma nova sessão. Caso contrário, são actualizados os dados da sessão já estabelecida à qual o pacote pertence.

Desta forma, a velocidade instantânea e a classificação dos diferentes tipos de pacotes é efectuada dentro de cada uma das sessões separadamente de forma a distinguir o estado das diferentes sessões activas.

De modo a ser possível calcular cada um desses valores, é utilizada uma estrutura para as sessões RTP constituída pelos seguintes elementos principais:

- *Array* formado pelos *sequence number* dos pacotes capturados pertencentes a essa sessão;
- Variável com registo do *sequence number* máximo detectado até ao momento;
- *Array* com o registo das velocidades observadas anteriormente;
- Variáveis com o número total de pacotes capturados para cada uma das categorias definidas abaixo, pertencentes a esta sessão.

Uma medida importante para caracterizar a qualidade de uma sessão RTP é a contagem dos diferentes tipos de pacotes detectados. A classificação dos pacotes detectados para cada uma das sessões é efectuada da seguinte forma:

- Pacotes ordenados;
- Pacotes perdidos;
- Pacotes atrasados (fora de ordem);

Para identificar os diferentes tipos de pacotes é utilizado o campo *sequence number* do cabeçalho RTP. Sabendo que em situações normais o valor deste campo é incrementado uma unidade sempre que é transmitido um novo pacote, é possível classificar os vários pacotes capturados.

Sendo assim, caso o *sequence number* do novo pacote seja superior em uma unidade, isso significa que o pacote está ordenado. A detecção de pacotes perdidos é implementada da seguinte forma: se for capturado um pacote com *sequence number* superior ao esperado (*sequence number* do pacote anterior + 1), então assume-se por defeito que todos os pacotes com *sequence number* entre o *sequence number* anteriormente recebido e o *sequence number* do novo pacote detectado foram perdidos, e uma variável previamente criada para registar o máximo valor do *sequence number* da sessão é actualizada tendo em vista o valor do *sequence number* deste último pacote. Posteriormente, caso sejam capturados pacotes com *sequence number* inferior a esse valor máximo que ainda não tenham sido anteriormente detectados (pois assim

seriam considerados duplicados), o número de pacotes atrasados é incrementado, enquanto que o número de pacotes perdidos é ajustado face a esta nova informação.

Desta forma, apenas o valor relacionado com o número de pacotes perdidos pode por ventura ser reajustado com a chegada de pacotes atrasados. No entanto, estes reajustamentos não se revelam problemáticos, nem comprometedores da viabilidade desta solução.

Para além da informação até agora apresentada, é ainda possível calcular o atraso associado à transmissão de pacotes RTP no sentido *remotehost* → *localhost*. Para tal, são analisados os resultados da diferença entre os valores do *timestamp* de dois pacotes consecutivos e da diferença entre os tempos de chegada desses mesmos pacotes ao *localhost*. Desta forma, é possível estimar o atraso existente associado aos fluxos RTP.

3.3 Monitorização da interface de rede 802.11

Nesta secção é apresentado o procedimento relacionado com o desenvolvimento do módulo para monitorização da interface de rede 802.11 (informação acerca das características dos principais protocolos disponível no ‘Anexo D: Camadas de nível inferior – Interface 802.11’).

Este módulo foi desenvolvido com o intuito de fornecer um outro tipo de informação ao utilizador (medidas de nível 1 e 2), diferente da disponibilizada pelos dois módulos anteriores, que permita complementar a informação extraída por esses mesmos módulos.

3.3.1 Descrição do procedimento adoptado

A informação de nível inferior é obtida directamente a partir da placa de rede e processada pelo sistema operativo antes de se tornar acessível ao utilizador.

Tendo em vista complementar a informação retirada da análise dos pacotes TCP e RTP, foi desenvolvido um módulo de *software* para aceder directamente a essa informação e mostrar os valores desses mesmos parâmetros ao utilizador em tempo real.

A placa de rede *wireless* escolhida é uma *D-Link AirPlus Xtreme G DWL-G520* com *chip atheros*. Os principais factores que conduziram a esta escolha foram: (i) a utilização do chip *atheros* ao qual está associado um *driver* bem estruturado e relativamente fácil de utilizar, (ii) as boas referências dadas por investigadores mais experientes nesta área e (iii) a disponibilidade em termos de aquisição deste material.

A primeira fase está relacionada com a instalação e configuração da placa de rede.

O *driver* utilizado é o *Multiband Atheros Driver for WiFi* (MADWIFI). Este *driver* possibilita a activação de vários módulos, os quais se encontram na tabela 3. Destes, apenas os três primeiros módulos são utilizados.

<i>ath_pci</i>	<i>Atheros driver for PCI/Cardbus devices</i>
<i>ath_hal</i>	<i>Atheros HAL</i>
<i>wlan</i>	<i>802.11 support layer</i>
<i>wlan_wep</i>	<i>WEP cipher support</i>
<i>wlan_tkip</i>	<i>TKIP cipher support</i>
<i>wlan_ccmp</i>	<i>AES-CCMP cipher support</i>
<i>wlan_xauth</i>	<i>external authenticator</i>
<i>wlan_acl</i>	<i>MAC ACL support for AP operation</i>
<i>wlan_scan_ap</i>	<i>AP scanning support</i>
<i>wlan_scan_sta</i>	<i>station scanning support</i>
<i>ath_rate_onoe</i>	<i>ONOE rate control</i>
<i>ath_rate_amrr</i>	<i>AMRR rate control</i>
<i>ath_rate_sample</i>	<i>SAMPLE rate control</i>

Tabela 3 - Módulos do driver *MADWIFI*

Após alguma pesquisa relacionada com o sistema de ficheiros */proc* foi descoberto que o ficheiro */proc/net/wireless* mantém estatísticas em tempo real relacionadas com cada uma das interfaces *wireless* actualmente configuradas no sistema.

Um exemplo do conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* está apresentado na figura 9:

Inter-	sta-	Quality	Discarded packets					Missed	WE
face	tus	link level noise	nwid	crypt	frag	retry	misc	beacon	16
wlan0:	0000	100 224 0	0	0	0	6	122829	0	
wlan1:	0000	55. 218. 163.	0	0	0	1	0	0	

Figura 9 - Ficheiro */proc/net/wireless*

Os parâmetros utilizados são:

- **Quality Link:** Qualidade da ligação (entre 0 e 100);
- **Quality Level:** Nível de sinal (entre 0 e 255);
- **Quality Noise:** Nível de ruído (entre 0 e 255);
- **Discarded Packets:** Número total de pacotes descartados (onde são considerados problemas relacionados com *essids* incorrectos, descodificação, fragmentação, número de retransmissões do mesmo pacote, entre outros casos não especificados).

Através de uma leitura periódica deste ficheiro é possível recolher os valores dos vários indicadores e apresentar essa informação ao utilizador em tempo real permitindo-lhe monitorizar continuamente a variação de cada um dos parâmetros.

3.4 Outros procedimentos efectuados

Tendo em vista a realização de uma estimativa dum valor descritivo para a qualidade da ligação tendo por base a informação recolhida por cada um dos módulos desenvolvidos, tornou-se necessário criar um novo módulo, constituído pelos três sub-módulos anteriores, capaz de fornecer ao utilizador a capacidade de realizar uma análise mais abrangente mantendo, contudo, a possibilidade de executar individualmente qualquer um dos tipos de monitorização anteriormente disponibilizados. A integração dos três sub-módulos requer algumas modificações ao código desenvolvido.

Adicionalmente é introduzida uma nova funcionalidade para permitir a definição de alarmes para as principais métricas associadas a cada um dos sub-módulos.

As secções seguintes apresentam a informação relacionada com a integração dos sub-módulos e a implementação de alarmes.

3.4.1 Interligação dos diferentes módulos

Para facilitar o processo de inicialização do programa e visualização dos resultados obtidos considerando a acção dos diversos componentes desenvolvidos, é necessário introduzir alguns melhoramentos.

A primeira mudança introduzida está relacionada com a definição dos parâmetros de entrada quando o programa é executado. Sendo assim, estão disponíveis quatro argumentos diferentes que poderão ou não ser utilizados (caso não sejam utilizados, são considerados os valores definidos por defeito).

Os argumentos disponíveis são:

- **-a 'analysis type'**: Este argumento é bastante importante uma vez que permite seleccionar qual o tipo de análise a executar, ou seja, qual o sub-módulo que será utilizado. As opções disponíveis para este argumento são: 'tcp', 'rtp', 'driver' ou 'all' (associada à execução de todos os sub-módulos em simultâneo).
- **-h: help**: A utilização deste argumento permite mostrar a ajuda do programa. Do conjunto de informações apresentadas ao utilizador destaca-se o modo como o programa deve ser executado, uma descrição de cada um dos argumentos, e ainda os valores que são considerados por defeito caso não sejam especificados todos os valores necessários.
- **-i 'interface'**: Este argumento é utilizado para especificar a interface que deve ser monitorizada. São suportadas interfaces *wired* ('eth0' e 'eth1') e ainda interfaces *wireless atheros* ('ath0') de modo a não haver problemas com a execução de nenhum dos módulos.
- **-v: version**: Este último argumento é responsável por apresentar no ecrã informação relacionada com a versão do programa. Para além dessa indicação, é ainda indicado

ao utilizador quais as melhorias introduzidas relativamente às versões anteriores e quais as alterações planeadas para futuras versões.

Para além da introdução dos argumentos de entrada, são também adicionadas outras funcionalidades, tais como a criação de um ficheiro de *log* no qual são registadas informações de três tipos diferentes:

<INFO>: Informações de configuração e outras relacionadas com a execução de determinados procedimentos durante a execução do programa.

<ERROR>: Informações relacionadas com erros ocorridos durante a execução do programa.

<DEBUG>: Informações auxiliares utilizadas na detecção de problemas e anomalias durante a execução do programa.

Outra alteração introduzida está relacionada com o modo de apresentação dos resultados obtidos para cada uma das análises. O modo de apresentação dos resultados, anteriormente baseado no envio da informação para o ecrã, foi optimizado para apenas apresentar no ecrã a informação estritamente necessária para a análise da qualidade de cada uma das ligações. A restante informação, como por exemplo, a descrição dos principais campos dos cabeçalhos dos pacotes capturados ou estatísticas da placa de rede menos importantes, continuam acessíveis mas sob a forma de ficheiro (***tcp.stats***, ***rtp.stats*** e ***driver.stats***) que são criados de acordo com o tipo de análise seleccionado pelo utilizador. Um novo ficheiro idêntico aos anteriores (***quality.stats***) foi criado para armazenar informação acerca das estimativas associadas à qualidade e ao nível de ocupação da rede (ver secção 3.5).

3.4.2 Alarmes de qualidade

Para facilitar a detecção de situações críticas é introduzido um ficheiro de configuração (***SpyTerm.cfg***) para permitir a definição de limiares para vários tipos de parâmetros monitorizados pelo programa. Desta forma, sempre que um desses parâmetros ultrapasse o limiar definido pelo respectivo *threshold*, é gerado um alarme que permite ao utilizador tomar conhecimento que o valor limite configurado foi ultrapassado. O conteúdo do ficheiro *SpyTerm.cfg* com a lista de limiares passíveis de serem configurados encontra-se na figura 10.

```

#      SpyTerm v5.0 - Configuration File
#
#
#
#To activate a threshold uncomment the related line and replace <To be defined> by the
value
#
#--TCP ANALYSIS--
#
#TCP_MAX_RETRANSMISSIONS [tcp_max_retrans] [positive integer]
#<To be defined>
#
#TCP_MAX_TIME_BETWEEN_PACKETS [tcp_max_time_between_pkts] [sec] [double]
#<To be defined>
#
#
#
#--RTP ANALYSIS--
#
#RTP_MAX_NUMBER_SESSIONS [rtp_max_number_sessions] [positive integer]
#<To be defined>
#
#RTP_MAX_TIME_BETWEEN_PACKETS [rtp_max_time_between_pkts] [sec] [double]
#<To be defined>
#
#RTP_MAX_LOST_PACKETS [rtp_max_lost_pkts] [positive integer]
#<To be defined>
#
#RTP_MAX_DELAYED_PACKETS [rtp_max_del_pkts] [positive integer]
#<To be defined>
#
#RTP_MAX_DUPLICATED_PACKETS [rtp_max_dupl_pkts] [positive integer]
#<To be defined>
#
#
#
#--DRIVER ANALYSIS--
#
#DRIVER_MIN_LINK_QUALITY [driver_min_link_quality] [positive integer]
#<To be defined>
#
#DRIVER_MIN_SIGNAL_LEVEL [driver_min_signal_level] [positive integer]
#<To be defined>
#
#DRIVER_MAX_NOISE_LEVEL [driver_max_noise_level] [positive integer]
#<To be defined>
#
#DRIVER_MAX_NUMBER_DISCARDED_PACKETS [driver_max_number_disc_pkts] [positive integer]
#<To be defined>

```

Figura 10 - Ficheiro de Configuração

Os vários tipos de alarmes estão agrupados por sub-módulo (TCP, RTP e DRIVER). Cada alarme é composto por duas linhas:

```

# <nome_alarme> [<variavel_utilizada_pelo_programa>] [<tipo_valor_aceite>]
# <valor_limiar>

```

Para utilizar esta funcionalidade, o utilizador apenas necessita de descomentar (retirando o carácter #) a linha com a designação <To be defined> relativa ao alarme pretendido e substituir essa mesma *label* pelo valor desejado para o limiar de activação, tendo em atenção o tipo de valor aceite. Por exemplo, no caso de se pretender activar um alarme sempre que o número de retransmissões exceder as 20 ocorrências o procedimento a adoptar é o seguinte:

```

#TCP_MAX_RETRANSMISSIONS [tcp_max_retrans] [positive integer]

```

3.5 Estimativa da qualidade da ligação

Tendo em vista facilitar a avaliação da qualidade de ligação momentânea por parte do utilizador final, é efectuada uma estimativa desse valor utilizando para tal as informações obtidas a partir de cada um dos sub-módulos anteriores. No total, são efectuadas três estimativas diferentes:

- Qualidade nível 2;
- Qualidade nível 3;
- Nível de ocupação da rede.

O procedimento adoptado para o cálculo destas estimativas encontra-se descrito nas secções seguintes.

3.5.1 Qualidade Nível 2

A qualidade da ligação entre o terminal e o ponto de acesso é obtida analisando somente a informação retirada da placa de rede. A qualidade da ligação rádio está relacionada com o nível de sinal e de ruído existente, daí o facto desse valor (campo **Quality Link** expresso em percentagem presente no ficheiro `/proc/net/wireless`) ser suficiente para inferir o nível de qualidade associado à ligação.

É nesta fase também calculada a taxa de pacotes descartados associados à interface `wireless`. Para tal são utilizados os ficheiros `/proc/net/dev` e `/proc/net/wireless` que contêm informação acerca da quantidade de pacotes transmitidos/recebidos e do número de pacotes descartados respectivamente.

O nível de qualidade estimado e a taxa de pacotes descartados são, por sua vez, posteriormente utilizados, juntamente com as informações reunidas a outros níveis, na elaboração de um relatório de qualidade para caracterizar o estado globalmente a ligação.

3.5.2 Qualidade Nível 3

A qualidade nível 3 é calculada utilizando a informação extraída dos pacotes TCP e RTP. O cálculo desta estimativa é baseado em duas métricas:

- Taxa de retransmissões (para fluxos TCP) e taxa de perdas (para fluxos RTP);
- Atraso verificado para os pacotes RTP.

Para a primeira métrica é definida uma gama delimitada por:

- Valor Mínimo (melhor situação): Taxa de retransmissões (para fluxos TCP) ou taxa de perdas (para fluxos RTP) de 0%.
 - Nenhum pacote TCP e/ou RTP perdido durante o intervalo de análise;
- Valor Máximo (pior situação): Taxa de retransmissões (para fluxos TCP) ou taxa de perdas (para fluxos RTP) de 100%.

- Todos os pacotes TCP ou RTP transmitidos/recebidos durante o intervalo de análise são retransmitidos ou perdidos respectivamente.

Desta forma é possível calcular um factor de qualidade considerando apenas a componente retransmissões (e/ou perdas) expresso em percentagem onde é considerada a contribuição de cada um dos tipos de pacotes:

$$Qual_1 = \left(\left(\frac{Pacotes_TCP_retrans}{Total_pacotes_TCP} \right) \times Contrib_Info_TCP + \left(\frac{Pacotes_RTP_perdidos}{Total_pacotes_RTP} \right) \times Contrib_Info_RTP \right) \times (-1) + 100 \quad (1)$$

A expressão anterior calcula o factor de qualidade baseado nas taxas de pacotes retransmitidos (fluxos TCP) e perdidos (fluxos RTP), considerando as contribuições de cada um dos protocolos em termos de quantidade de informação. Os factores de contribuição são calculados utilizando as expressões seguintes:

$$Contrib_Info_TCP = \left(\frac{Total_Info_TCP}{Total_Info_TCP + Total_Info_RTP} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$Contrib_Info_RTP = \left(\frac{Total_Info_RTP}{Total_Info_TCP + Total_Info_RTP} \right) \times 100 \quad (3)$$

Para a segunda métrica é igualmente definida uma gama delimitada, desta vez por:

- Valor Mínimo (melhor situação):
 - Atraso entre pacotes RTP consecutivos igual a 0s;
- Valor Máximo (pior situação):
 - Atraso entre pacotes RTP consecutivos igual a 600ms. Este valor é definido com base no atraso máximo recomendado para os serviços de comunicação em tempo real (os quais utilizam o protocolo RTP para a transmissão da informação áudio e vídeo a eles associados) apresentado na secção 2.4.

Desta forma é possível calcular um factor de qualidade considerando apenas a componente atraso expressa em percentagem, onde é somente utilizada informação proveniente de fluxos RTP:

$$Qual_2 = \left(\frac{atraso_medio_RTP}{0,6} \right) \times (-100) + 100 \quad (4)$$

A expressão anterior calcula o factor de qualidade baseado na comparação do atraso estimado com o valor máximo de 600ms considerado.

O parâmetro *atraso_medio_RTP* é calculado utilizando a expressão seguinte:

$$atraso_med_RTP = dif_med_RTP_dest - dif_med_RTP_orig \quad (5)$$

Os factores presentes na expressão anterior dizem respeito à diferença de tempo média entre pacotes RTP no destino e na origem respectivamente. O cálculo de cada um desses valores é efectuado utilizando as seguintes fórmulas:

$$dif_med_RTP_dest = \frac{(dif_med_RTP_dest \times iter)}{(iter + 1)} + \frac{X}{(iter + 1)} \quad (5)$$

$$dif_med_RTP_orig = \frac{(dif_med_RTP_orig \times iter)}{(iter + 1)} + \frac{Y}{(iter + 1)} \quad (6)$$

onde, X e Y correspondem à diferença de tempo entre os dois pacotes consecutivos no destino e na origem, respectivamente, e $iter$ ao número de iterações verificadas até ao momento.

Esta abordagem permite obter para cada um dos casos uma média ponderada, calculada de forma recursiva, que atribui um peso decrescente a cada última iteração resultante da menor contribuição dos últimos valores $dif_med_RTP_dest$ e $dif_med_RTP_orig$ face ao aumento do número de pacotes capturados e analisados.

A estimativa de um factor de qualidade não é um processo simples de realizar devido à existência de diferentes tipos de serviços, os quais apresentam diferentes requisitos no que respeita à qualidade. Isto significa que, apesar da rede apresentar um nível de qualidade aceitável para serviços de transferência de dados, essas mesmas condições podem ser inoportáveis para serviços de comunicação em tempo real.

Para tentar minimizar este problema é introduzida a possibilidade do próprio utilizador personalizar a fórmula do cálculo da qualidade, dando maior ou menor importância a cada um dos dois tipos de métricas utilizadas para o cálculo da estimativa da qualidade nível 3.

Os diferentes tipos de análises são definidos da seguinte forma:

- Genérico
 - 50% Retransmissões e Perdas;
 - 50% Atraso pacotes RTP.
- Dados
 - 80% Retransmissões e Perdas;
 - 20% Atraso pacotes RTP.
- *Streaming*
 - 60% Retransmissões e Perdas;
 - 40% Atraso pacotes RTP.
- Comunicação em tempo real
 - 30% Retransmissões e Perdas;
 - 70% Atraso pacotes RTP.

3.5.3 Nível de ocupação da rede

Para determinar o estado de ocupação da rede é calculada a percentagem de tráfego em relação à capacidade total da ligação. Os limites mínimo e máximo para o nível de ocupação da rede são definidos da seguinte forma:

- Valor Mínimo: Taxa de ocupação de 0%;
 - Zero *bytes* de informação transmitidos/recebidos durante o intervalo em análise.
- Valor Máximo: Taxa de ocupação de 100%;
 - Toda a capacidade da ligação é utilizada durante todo o intervalo de análise.

Para calcular o valor da ocupação é utilizada a seguinte expressão:

$$\text{ocupação} = \frac{(\text{Total_Informação_TCP} + \text{Total_Informação_RTP})}{\text{Capacidade_Link} \times \text{Duração_Intervalo}} \times 100 \quad (7)$$

A expressão anterior relaciona a quantidade de informação TCP e RTP transmitida/recebida com a capacidade total da ligação.

De forma a melhor caracterizar as condições existentes aquando da obtenção das estimativas de ocupação e qualidade, são igualmente apresentadas as contribuições de cada um dos tipos de pacotes (TCP e RTP) em termos de quantidade de informação utilizando as fórmulas (2) e (3) e em termos do número de pacotes utilizando as expressões seguintes:

$$\text{Contrib_Pkts_TCP} = \left(\frac{\text{Total_Pkts_TCP}}{\text{Total_Pkts_TCP} + \text{Total_Pkts_RTP}} \right) \times 100 \quad (8)$$

$$\text{Contrib_Pkts_RTP} = \left(\frac{\text{Total_Pkts_RTP}}{\text{Total_Pkts_TCP} + \text{Total_Pkts_RTP}} \right) \times 100 \quad (9)$$

3.5.4 Qualidade Global da Ligação

Depois de serem calculadas as estimativas para a qualidade nível 2 e 3 e a ocupação da rede, é efectuada a relação entre todos esses elementos. Este procedimento tem em vista a obtenção de informação global que permita caracterizar a qualidade da ligação de uma forma concisa e genérica, e identificar a origem (terminal ou elemento de rede externo) de possíveis problemas da rede.

As diferentes métricas disponíveis são analisadas e correlacionadas tendo em vista a obtenção de informações úteis para o utilizador. Para tal é necessário definir diferentes níveis de qualidade para cada uma das métricas. Os níveis definidos são os seguintes:

- Baixo: <25%;
- Médio-Baixo: >25% e <50%;
- Médio-Alto: >50% e <75%;
- Alto: >75%.

As situações analisadas e respectivas informações globais de qualidade encontram-se na tabela 4.

	Situações Analisadas	Informações Globais de Qualidade
1	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Alto > Qualidade nível 3: Alto > Factor retransmissões/perdas: Alto > Factor atraso: Alto > Nível ocupação da rede: --- 	Estado Geral da Ligação: Excelente
2	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Médio-Alto ou Alto > Factor atraso: Médio-Alto ou Alto > Nível ocupação da rede: --- 	Estado Geral da Ligação: Bom
3	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Médio-Alto ou Alto > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	Estado Geral da Ligação: Problemático > Elevada taxa de perdas para baixa/moderada actividade de rede.
4	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Médio-Alto ou Alto > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	Estado Geral da Ligação: Problemático > Elevado atraso para baixa/moderada actividade de rede.
5	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Médio-Alto ou Alto > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	Estado Geral da Ligação: Problemático > Baixo nível de sinal radio. > Elevada taxa de perdas para baixa/moderada actividade de rede.
6	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Médio-Alto ou Alto > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	Estado Geral da Ligação: Problemático > Baixo nível de sinal radio. > Elevado atraso para baixa/moderada actividade de rede.

Tabela 4 - Situações analisadas e respectivas informações globais de qualidade

	Situações Analisadas	Informações Globais de Qualidade
7	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Baixo ou Médio-Baixo > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Médio-Alto ou Alto 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Possível congestionamento. > Possível problema com aplicação ou elemento de rede externo.
8	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Baixo ou Médio-Baixo > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Possível problema com aplicação ou elemento de rede externo.
9	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Qualidade nível 3: Baixo ou Medio-Baixo > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Médio-Alto ou Alto 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Baixo nível de sinal radio. > Possível congestionamento.
10	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Qualidade nível 3: Baixo ou Médio-Baixo > Factor retransmissões/perdas: Baixo ou Médio-Baixo > Factor atraso: Baixo ou Médio-Baixo > Nível ocupação da rede: Baixo ou Médio-Baixo 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Baixo nível de sinal radio. > Possível problema com aplicação ou elemento de rede externo.
11	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Taxa de pacotes descartados: Médio-Alto ou Alto > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Médio-Alto ou Alto > Factor atraso: Médio-Alto ou Alto > Nível ocupação da rede: --- 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Baixo nível sinal radio. > Ligação radio condicionada <ul style="list-style-type: none"> > Interferências, problemas na descodificação ou fragmentação da informação,...
12	<ul style="list-style-type: none"> > Qualidade nível 2: Baixo ou Médio-Baixo > Taxa de pacotes descartados: Baixo ou Médio-Baixo > Qualidade nível 3: Médio-Alto ou Alto > Factor retransmissões/perdas: Médio-Alto ou Alto > Factor atraso: Médio-Alto ou Alto > Nível ocupação da rede: --- 	<p>Estado Geral da Ligação: Problemático</p> <ul style="list-style-type: none"> > Baixo nível sinal radio.

Tabela 4 (cont.) - Situações analisadas e respectivas informações globais de qualidade

Os principais casos óptimos e problemáticos em termos de desempenho, identificados e analisados pelo programa estão apresentados na tabela 4. A caracterização dos cenários é efectuada com base na análise dos valores associados a factores e estimativas de qualidade,

incluindo em alguns casos também informação relacionada com a taxa de pacotes descartados ao nível da camada 2.

A tabela 4 ilustra dois cenários não problemáticos (1 e 2) onde um deles (1) está associado a um desempenho excelente, enquanto que o outro (2) retrata o caso em que o desempenho não é tão elevado mas ainda assim bastante aceitável.

É definido que o estado da ligação é excelente caso todos os parâmetros envolvidos apresentem níveis de qualidade superiores a 75% independentemente do nível de ocupação da rede, o que garante a não existência de qualquer limitação em termos de desempenho, independentemente da capacidade da rede que esteja de momento a ser utilizada.

Caso algum desses parâmetros apresente um valor inferior a 75% (definido como o mínimo valor exigido tendo em vista um desempenho óptimo) mantendo, contudo, um nível mínimo de 50%, então provavelmente o desempenho será inferior, daí a designação 'bom' e não 'excelente' atribuída à qualidade da ligação.

Na tabela 4 são igualmente contemplados outros cenários (3-12) aos quais estão associadas diversas limitações de diferentes tipos, ou seja, problemas susceptíveis de afectarem a qualidade geral da ligação.

Os primeiros quatro cenários (3, 4, 5 e 6) estão relacionados com situações para as quais foram detectadas taxas de retransmissões/perdas de pacotes ou valores de atraso anormais, tendo em conta o valor dos restantes parâmetros analisados e o próprio nível de ocupação da rede. A distinção em quatro cenários distintos está relacionada com o facto dos dois parâmetros anteriores serem analisados individualmente para situações de boa e má qualidade de sinal rádio.

Os próximos cenários (7 e 8) retratam o caso em que, o nível de qualidade da camada nível 2 é bom, mas no que respeita à camada nível 3 os valores obtidos são inferiores ao recomendado. De acordo com os valores dos diferentes parâmetros é possível concluir que não existem problemas com o terminal e que caso se verifique uma diminuição da qualidade, esta estará muito provavelmente relacionada com algum problema associado a algum elemento de rede que não o terminal. A possibilidade de congestionamento apenas existe no cenário 7 para o qual o nível de ocupação da rede é significativo.

Os cenários seguintes (9 e 10) retratam o caso em que todos os indicadores evidenciam problemas. Todos os parâmetros considerados apresentam baixos níveis de qualidade, daí que seja necessário fazer referência a cada um desses indicadores. Sendo assim, para além do possível problema relacionado com o próprio terminal e com a ligação rádio (baixa qualidade nível 2) independentemente da ocupação, são inferidas outras causas relacionadas com um possível congestionamento da rede (no caso em que a ocupação é elevada - 9) ou com o mal funcionamento de alguma aplicação ou elemento de rede externo (no caso em que a ocupação não é significativa - 10).

É definido um cenário (11) com o objectivo de detectar problemas relacionados unicamente com o terminal. A identificação desta situação é efectuada considerando que apenas as indicações relativas ao próprio terminal e à ligação rádio associada, apresentam valores

considerados limitativos em termos de desempenho. A taxa de pacotes descartados é, neste caso, também utilizada para detectar problemas específicos relacionados com a ligação rádio, como por exemplo, interferências devido à existência de outras redes *wireless*. Desta forma, se todos os outros indicadores apresentarem níveis razoáveis (superiores a 50%) independentemente do nível de ocupação da rede, então muito provavelmente os possíveis problemas de qualidade detectados têm origem no próprio terminal e na sua ligação à rede.

Por fim, é definido um outro cenário (12) com o objectivo de identificar problemas no terminal que estejam unicamente relacionados com o fraco nível de sinal verificado em relação ao nível de ruído (situação comum para a qual contribuem as diferentes localizações dos diversos pontos de acesso e os obstáculos existentes). Para tal, é verificado se, independentemente do nível de ocupação da rede, apenas a qualidade nível 2 apresenta valores limitativos (inferiores a 50%) associadas a uma baixa taxa de pacotes descartados. A diferença em relação ao cenário anterior reside na taxa de pacotes descartados, que neste caso deverá manter-se reduzida, pois não está directamente relacionada com o nível sinal/ruído mas sim com aspectos de configuração da ligação (fragmentação e descodificação de pacotes,...) e interferências exteriores, os quais apenas são contemplados no cenário anterior (11).

3.6 Conclusões

Nesta secção foi apresentado o trabalho realizado relativo ao desenvolvimento de cada um dos sub-módulos utilizados na obtenção de informação a partir das ligações TCP, RTP e da interface de rede 802.11.

Foram ainda incluídas as modificações e funcionalidades extra implementadas, com o objectivo de melhorar a interacção com o utilizador e a comunicação entre os vários sub-módulos desenvolvidos. Por fim, foram apresentados os procedimentos adoptados para a estimativa da ocupação da rede e dos vários níveis de qualidade (nível 2, nível 3 e global).

Foi possível reunir informações detalhadas acerca das ligações TCP e RTP recorrendo aos campos dos cabeçalhos dos vários tipos de protocolos analisados, as quais serviram de base ao cálculo dos factores de qualidade relacionados com as perdas e com o atraso. O correlacionamento dessa informação com as estatísticas recolhidas a partir da placa de rede *wireless* permitiu ainda a caracterização da qualidade global da ligação e a detecção de diversos casos problemáticos limitativos em termos de desempenho.

É importante realçar que apenas algumas das várias situações existentes foram analisadas. A identificação e classificação de outras situações utilizando um maior número de intervalos para classificação dos diferentes parâmetros (aumentando assim a exactidão dos resultados) assumem, deste modo, contornos de um possível melhoramento futuro já que para os devidos efeitos fica aqui descrito o procedimento utilizado bem como as bases para posteriores análises.

Capítulo 4

Apresentação e análise dos resultados

Neste capítulo são apresentados os principais resultados relacionados com os testes efectuados tendo em vista a validação do funcionamento de cada um dos sub-módulos em separado, e a análise do procedimento implementado para a estimativa da qualidade em diferentes cenários de teste.

Este capítulo está organizado da seguinte forma:

- **Secção 4.1:** Nesta secção são apresentados os testes modulares efectuados para validar o funcionamento de cada um dos sub-módulos de monitorização (TCP, RTP e DRIVER) desenvolvidos.
- **Secção 4.2:** Nesta secção são apresentados os testes efectuados utilizando dois ou mais componentes integrados, com o objectivo de avaliar a comunicação entre diferentes elementos e o funcionamento do programa. Numa primeira fase, são analisados os valores associados às estimativas das taxas de retransmissões TCP e perdas RTP. De seguida são comparados os resultados obtidos utilizando cada um dos vários modos possíveis para a estimativa da qualidade de nível 3. A degradação do sinal *wireless* e a relação entre os diferentes valores recolhidos provenientes de diferentes camadas são também analisados juntamente com os relatórios de qualidade periodicamente gerados. Por fim, é ainda efectuado um teste para analisar quais os requisitos associados à utilização deste módulo em termos de capacidade de processamento e memória.
- **Secção 4.3:** Nesta secção são apresentadas as principais conclusões relativas a este capítulo.

4.1 Testes modulares

Com o objectivo de analisar o funcionamento e validar os valores obtidos por cada um dos módulos desenvolvidos, foram efectuados testes modulares a cada um dos módulos de monitorização. Os resultados dos diferentes testes efectuados são apresentados nas secções seguintes.

4.1.1 Monitorização de ligações TCP

O cenário de testes considerado para a realização destes testes modulares de validação do funcionamento do módulo TCP é bastante simples, consistindo basicamente no

estabelecimento de uma ligação *ethernet* para possibilitar o acesso à Internet por parte do terminal com o módulo TCP instalado.

O teste efectuado consistiu na geração de tráfego TCP utilizando o serviço de *streaming* vídeo - *youtube* - e posterior comparação dos resultados obtidos pelo módulo com os dados extraídos utilizando o *wireshark* como ferramenta auxiliar para a análise dos pacotes. A utilização do *youtube* como método de geração de tráfego TCP teve por base o facto de não serem necessários requisitos especiais para este tipo de teste. Apenas foi necessário utilizar uma aplicação que proporcionasse um fluxo minimamente regular de tráfego TCP de forma a facilitar a captura e análise da informação contida no cabeçalho de cada um desses pacotes.

Os resultados do teste anterior encontram-se apresentados nas figuras 11, 12 e 13:

```
Packet Number: 16
--TCP Packet Information--
Size of TCP Header: 32
Source IP Address: 193.136.173.40      Source Port: 3128
Destination IP Address: 193.136.93.173  Destination Port: 55159
Sequence Number: 846348540
Acknowledge Number: 266418479
Window: 8715
--TCP Connection Analysis--
Arrival/Departure Time (hh:mm:ss:uuuuuu in UTC): 19:0:1.753366
Time since last received packet: 0.092326sec
Instantaneous download speed estimation: 2578pac/seg
Total number SYN packets (for all connections): 2
Total number of TCP packets sent: 8
Total number of TCP packets received: 8
Retransmissions: 4

Packet Number: 17
--TCP Packet Information--
Size of TCP Header: 32
Source IP Address: 193.136.93.173      Source Port: 55159
Destination IP Address: 193.136.173.40  Destination Port: 3128
Sequence Number: 266418479
Acknowledge Number: 846348780
Window: 3632
--TCP Connection Analysis--
Arrival/Departure Time (hh:mm:ss:uuuuuu in UTC): 19:0:1.753774
Time since last transmitted packet: 0.094151sec
Instantaneous upload speed estimation: 4333pac/seg
Total number SYN packets (for all connections): 2
Total number of TCP packets sent: 9
Total number of TCP packets received: 8
Retransmissions: 4
```

Figura 11 - Conteúdo do ficheiro *tcp.stats*

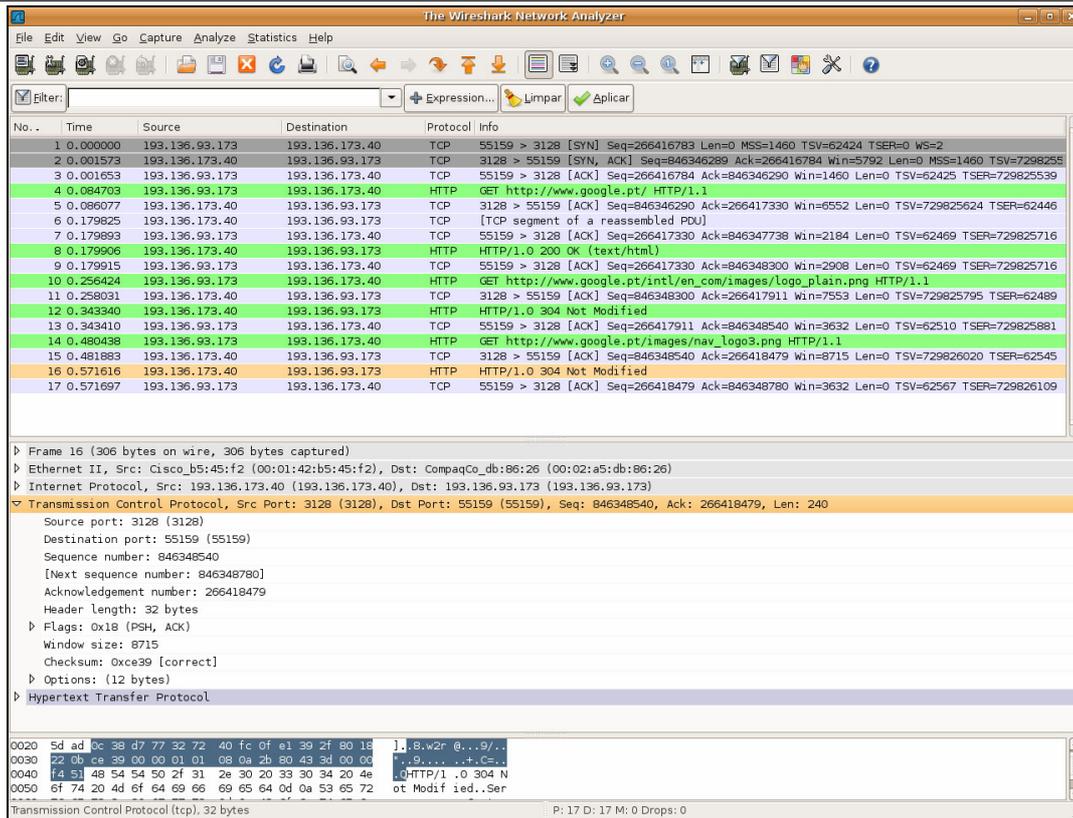


Figura 12 - Captura no wireshark com informação referente ao pacote 16

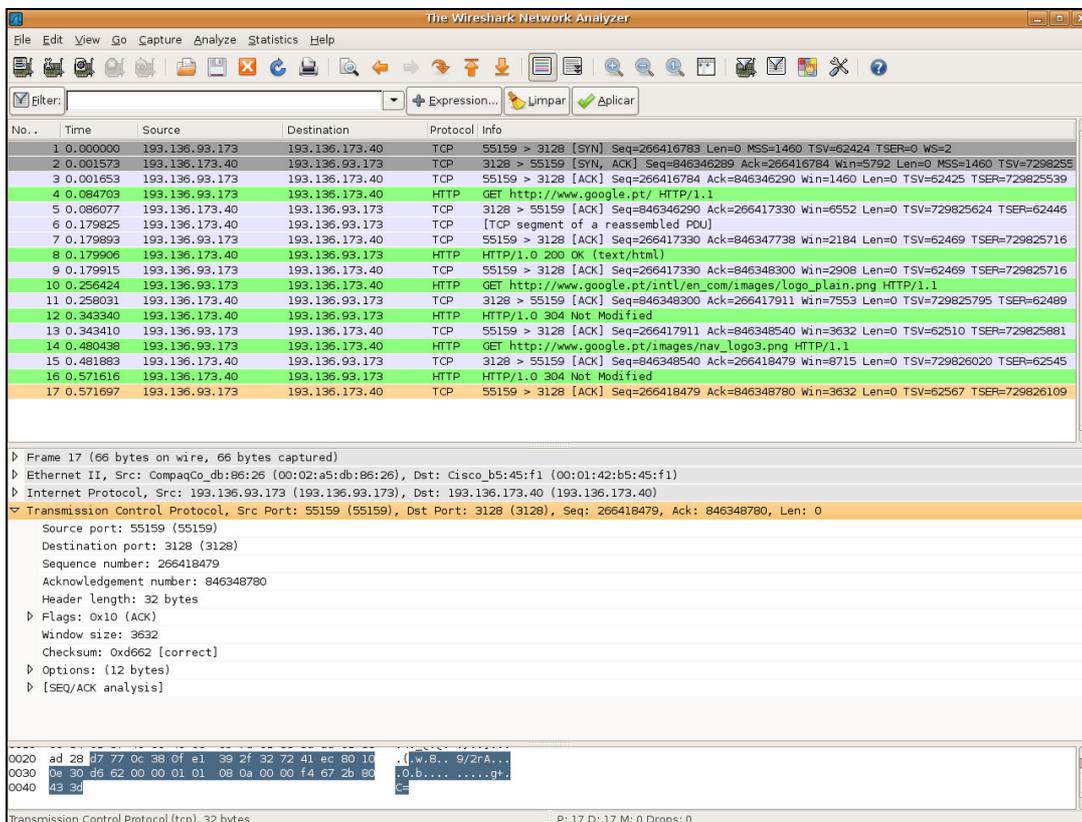


Figura 13 - Captura no wireshark com informação referente ao pacote 17

Na figura 11 são apresentados vários parâmetros recolhidos ao nível das camadas de rede e de transporte para pacotes TCP com origem num terminal remoto e no terminal local. Para além dos valores extraídos dos cabeçalhos IP e TCP, são ainda apresentados alguns dados resultantes da análise da própria ligação TCP existente, como a diferença de tempo em relação ao último pacote recebido/enviado, a velocidade instantânea, o número de pacotes recebidos/enviados e as retransmissões detectadas.

As duas figuras seguintes (12 e 13) apresentam os valores reais dos vários campos dos cabeçalhos IP e TCP associados a cada um dos dois pacotes detectados pelo módulo de monitorização TCP (figura 11).

Comparando os valores extraídos pelo módulo a partir dos cabeçalhos dos pacotes (figura 11) com os dados recolhidos utilizando o *wireshark* (figuras 12 e 13), é possível validar a informação apresentada pelo módulo de monitorização TCP, quer ao nível da camada de rede (endereços IP), quer ao nível da camada de transporte (portos origem/destino, *sequence number*, *acknowledgment number*, *window*, ...).

4.1.2 Monitorização de ligações RTP

O cenário de testes utilizado foi bastante semelhante ao considerado na secção anterior para validar a acção do módulo de monitorização TCP. A única diferença esteve relacionada com a aplicação escolhida para gerar o tráfego de teste.

Foram estudadas várias alternativas para simular um fluxo de dados RTP tendo em vista a validação do funcionamento deste módulo. As alternativas consideradas para simular tráfego RTP foram:

- *PackETH* (ferramenta que permite geração de pacotes *ethernet*) ([38])
- VLC (ferramenta de video streaming) ([39])
- *RTPstreamGen* (ferramenta para geração de tráfego RTP de teste desenvolvida no âmbito de actividades do Instituto de Telecomunicações).

A decisão recaiu sobre a aplicação *RTPstreamGen* (que foi desenvolvida para esse propósito no âmbito dum outro trabalho relacionado com *probing* RTP) pelo facto de ser mais simples e capaz de suportar múltiplas sessões RTP.

A figura 14 apresenta o modo como é executada a aplicação *RTPstreamGen* e a informação que é enviada para a consola resultante da sua execução.

```
pedrop@user-desktop:~/aux_app/RTPstreamGen$ sudo ./RTPsender
Password:
Usage: ./RTPsender <number of streams> <destination ip> <min destination port> <inter arrival calls (microsec)> <inter arrival packets (microsec)> <
payload size> <duration (seconds)>
pedrop@user-desktop:~/aux_app/RTPstreamGen$ sudo ./RTPsender 2 193.136.92.105 62001 10000 10000 300 5
Fluxo 62001
Fluxo 62002
Exiting..
Pacotes gerados: 608
Bytes gerados: 215232 (2 Mbits)
pedrop@user-desktop:~/aux_app/RTPstreamGen$
```

Figura 14 - *RTPstreamGen*

Através da figura anterior é possível verificar quais os parâmetros necessários à execução da aplicação e qual a informação apresentada ao utilizador como resultado da actuação desta ferramenta de geração de tráfego (identificação dos fluxos RTP e número de pacotes e bytes gerados).

Após ter sido seleccionada a aplicação responsável pela simulação de tráfego RTP foi então possível realizar o teste de validação do funcionamento deste módulo. À semelhança do que aconteceu com o módulo anterior, foi utilizada a aplicação *wireshark* como ferramenta auxiliar.

Nas figuras 15, 16 e 17 estão representados os resultados do teste efectuado.

```
Packet Number: 615
--RTP Packet Information--
Source IP Address: 193.136.93.173      Source Port: 32769
Destination IP Address: 193.136.92.105  Destination Port: 62001
Timestamp: 548510726
Version: 2
Payload Type: 0
Sequence Number: 9460
SSRC: 1804289383
CSRCCount: 0
--RTP Connection Analysis--
Arrival/Departure Time (hh:mm:ss:uuuuuu in UTC): 19:34:28.486726
Session nº 2 (SSRC: 1804289383)
Time since last packet (for this session): 0.016684sec
Instantaneous upload speed estimation (for this session): 1010pac/seg
Number of packets from this session: 303
Total number of packets lost: 0
Total number of packets delayed: 0
Total number of RTP sessions: 2
Total number of valid RTP packets: 607

Packet Number: 616
--RTP Packet Information--
Source IP Address: 193.136.93.173      Source Port: 32770
Destination IP Address: 193.136.92.105  Destination Port: 62002
Timestamp: 0
Version: 2
Payload Type: 0
Sequence Number: 18851
SSRC: 1681692777
CSRCCount: 0
--RTP Connection Analysis--
Arrival/Departure Time (hh:mm:ss:uuuuuu in UTC): 19:34:28.934153
Session nº 1 (SSRC: 1681692777)
Time since last packet (for this session): 0.460269sec
Instantaneous upload speed estimation (for this session): 949pac/seg
Number of packets from this session: 305
Total number of packets lost: 0
Total number of packets delayed: 0
Total number of RTP sessions: 2
Total number of valid RTP packets: 608
```

Figura 15 - Conteúdo do ficheiro *rtp.stats*

Através da análise da figura 15 é possível visualizar a informação associada a dois pacotes RTP capturados pelo módulo de monitorização RTP. Tal como para o caso TCP, para além de informação extraída ao nível da camada de rede, são igualmente recolhidos dados provenientes de outras camadas superiores, neste caso associadas aos protocolos UDP e RTP. Para além dos principais campos relativos a cada um desses cabeçalhos (IP, UDP e RTP), são igualmente apresentadas outras medidas características da sessão RTP à qual o pacote pertence (como por exemplo identificação da sessão, registo do número total de pacotes pertencentes à sessão, número de pacotes perdidos e diferença de tempo em relação ao último pacote).

As figuras 16 e 17 apresentam a informação que está efectivamente presente nos vários cabeçalhos dos dois pacotes RTP capturados e analisados pelo módulo. Utilizando a informação apresentada nessas figuras relacionada com os cabeçalhos IP (endereços IP), UDP (portos origem e destino) e RTP (*sequence number*, *timestamp*, *synchronization source identifier*), é possível validar os valores dos campos associados a cada um dos cabeçalhos apresentados na figura 15.

Posteriormente, foi testado o mecanismo de detecção de pacotes perdidos, através da restrição, em termos da análise, de determinados pacotes detectados. Foi ainda analisado o novo mecanismo para a obtenção do valor da velocidade instantânea (o qual, como já foi dito, considera um maior número de amostras para efectuar a estimativa) que se revelou menos instável e mais preciso do que aquele que era anteriormente utilizado.

4.1.3 Monitorização da interface de rede 802.11

Para avaliar o funcionamento deste módulo, foi efectuado um teste simples de comparação dos valores apresentados ao utilizador com o conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* em vários instantes distintos. Os resultados do teste foram positivos tal como se pode observar nas figuras 18 e 19.

```

Iteration Number: 1
  Quality (Link): 35
  Quality (Signal Level): 196
  Quality (Noise Level): 161
  Discarded Packets (Invalid network_id): 27912
  Discarded Packets (Unable to decrypt): 0
  Discarded Packets (Unable to make MAC reassembly): 0
  Discarded Packets (Max MAC retries number reached): 0
  Discarded Packets (Other cases): 0
  Missed Beacons: 0

Iteration Number: 2
  Quality (Link): 35
  Quality (Signal Level): 197
  Quality (Noise Level): 162
  Discarded Packets (Invalid network_id): 27913
  Discarded Packets (Unable to decrypt): 0
  Discarded Packets (Unable to make MAC reassembly): 0
  Discarded Packets (Max MAC retries number reached): 0
  Discarded Packets (Other cases): 0
  Missed Beacons: 0

Iteration Number: 3
  Quality (Link): 35
  Quality (Signal Level): 195
  Quality (Noise Level): 160
  Discarded Packets (Invalid network_id): 27917
  Discarded Packets (Unable to decrypt): 0
  Discarded Packets (Unable to make MAC reassembly): 0
  Discarded Packets (Max MAC retries number reached): 0
  Discarded Packets (Other cases): 0
  Missed Beacons: 0
    
```

Figura 18 - Conteúdo do ficheiro *driver.stats*

Inter-	sta-	Quality			Discarded packets					Missed	WE
face	tus	link	level	noise	nwid	crypt	frag	retry	misc	beacon	21
ath0:	0004	35.	195.	160.	27917	0	0	0	0	0	

Figura 19 - Conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* para a terceira iteração

A figura 18 mostra a informação relacionada com a placa *wireless* recolhida pelo módulo de monitorização da interface de rede 802.11. De acordo com o procedimento apresentado anteriormente na secção 3.3, a obtenção dessa informação é possível através da consulta periódica do ficheiro */proc/net/wireless* (figura 19). Comparando os valores obtidos pelo módulo durante a terceira iteração (figura 18) com a informação presente no ficheiro */proc/net/wireless* nesse mesmo instante (figura 19), é possível constatar que tanto as medidas de qualidade (*link*, *level*, *noise*) como o número de pacotes descartados pertencentes a cada uma das diferentes categorias (*nwid*, *crypt*, *frag*, *retry*, *misc*) são correctamente extraídos e apresentados pelo módulo, o que demonstra o seu correcto funcionamento.

4.2 Testes de integração e sistema

Nesta secção são descritos os testes que foram executados com o objectivo de validar o procedimento adoptado para a estimativa dos diferentes parâmetros de qualidade. Para além da descrição dos testes efectuados, são igualmente apresentados e analisados os principais resultados obtidos.

Para a realização dos diversos testes foram considerados dois cenários de teste distintos: um em ambiente *wired* e outro em ambiente *wireless*. A utilização destes dois cenários permitiu, por um lado, executar alguns testes num ambiente controlado e por outro, analisar o comportamento do programa em diferentes ambientes e verificar a correlação entre as medidas associadas aos diferentes níveis.

4.2.1 Testes em ambiente *wired*

Nesta secção são apresentados os diversos testes efectuados em ambiente *wired*. Numa primeira fase é descrito o cenário de teste implementado (secção 4.2.1.1). De seguida, são apresentados e analisados os resultados relativos à resposta da rede face à variação da taxa de perda de pacotes TCP e RTP (secção 4.2.1.2) e ao modo de funcionamento escolhido pelo utilizador (secção 4.2.1.3).

4.2.1.1 Cenário de teste

Para a realização dos testes em ambiente *wired* foi implementado o cenário descrito na figura 20.

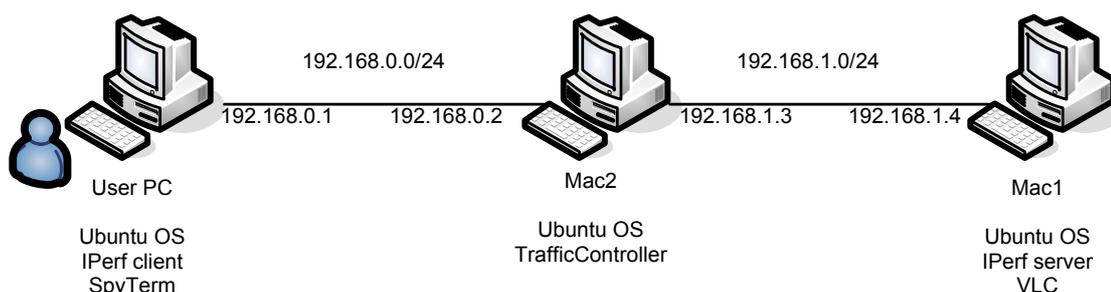


Figura 20 - Cenário de teste em ambiente *wired*

Para a transferência de informação TCP e RTP foram utilizados como terminais os PCs 'User PC' e 'Mac1'; o PC 'Mac2' foi introduzido para permitir simular taxas de perdas específicas num ambiente inicialmente sem perdas.

Como geradores de tráfego, foram utilizados o IPerf ([40]) para tráfego TCP e o VLC ([39]) para tráfego RTP. A introdução de diferentes taxas de perdas foi possível através da utilização da ferramenta TC (*Traffic Controller*) ([41]) que, tal como o IPerf, está incluída no conjunto de pacotes de *software* disponibilizados pelo *Ubuntu*.

4.2.1.2 Taxas de perdas

Com o objectivo de avaliar a exactidão das estimativas associadas às retransmissões (para fluxos TCP) e às perdas (para fluxos RTP) de pacotes, foram executados vários testes para analisar a resposta do programa face à variação da taxa de perdas num ambiente de teste controlado. A utilização da ferramenta TC permitiu introduzir taxas de perdas de pacotes TCP e RTP de 20% e 60% num ambiente inicialmente sem perdas. Os resultados obtidos para estes três

cenários (0%, 20% e 60%) em termos de pacotes e quantidade de informação para cada um dos tipos de ligações (TCP e RTP) encontram-se representados nas figuras 21, 22, 23 (TCP) e 24, 25, 26 (RTP).

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
  > TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 0.0138351
  > TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 0.00109974
  > TCP total number of retransmitted packets: 1
  > TCP total number of packets: 7228
  > TCP total retransmitted information: 76
  > TCP total information: 6.91071e+06
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 99.9862
----- END -----
```

Figura 21 - TCP num ambiente idealmente sem perdas

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
  > TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 16.3265
  > TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 26.0371
  > TCP total number of retransmitted packets: 8
  > TCP total number of packets: 49
  > TCP total retransmitted information: 12000
  > TCP total information: 46088
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 83.6735
----- END -----
```

Figura 22 - TCP num ambiente com 20% perda de pacotes

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
  > TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 52.6316
  > TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 55.5054
  > TCP total number of retransmitted packets: 10
  > TCP total number of packets: 19
  > TCP total retransmitted information: 7864
  > TCP total information: 14168
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 47.3684
----- END -----
```

Figura 23 - TCP num ambiente com 60% perda de pacotes

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
  > RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 1.78571
  > RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 1.78571
  > RTP total number of packets lost: 10
  > RTP total number packets: 560
  > RTP total information lost: 13560
  > RTP total information: 759360
  > RTP average delay [sec]: 0.0336083
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 98.2143
----- END -----
```

Figura 24 - RTP num ambiente idealmente sem perdas

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 21.3552
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 21.3552
> RTP total number of packets lost: 104
> RTP total number packets: 487
> RTP total information lost: 141024
> RTP total information: 660372
> RTP average delay [sec]: 0.0469166
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 78.6448
----- END -----

```

Figura 25 - RTP num ambiente com 20% perda de pacotes

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 60.7143
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 60.7143
> RTP total number of packets lost: 340
> RTP total number packets: 560
> RTP total information lost: 461040
> RTP total information: 759360
> RTP average delay [sec]: 0.072504
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 39.2857
----- END -----

```

Figura 26 - RTP num ambiente com 60% perda de pacotes

As figuras anteriores apresentam informação relacionada com as taxas de perdas em termos do número de pacotes e *bytes* de informação e com o factor de qualidade relacionado com a componente atraso para ambos os tipos de ligações analisadas (TCP e RTP), considerando a introdução de diferentes taxas de perdas em termos do número de pacotes utilizando a ferramenta *Traffic Controller*.

A quantidade de informação transmitida (“*TCP total information*” e “*RTP total information*”) e retransmitida (“*TCP total retransmitted information*”) é obtida com base na análise do campo *Total Length* do cabeçalho IP dos pacotes TCP e RTP o qual contém o número total de *bytes* do respectivo pacote IP. Por sua vez, a determinação da quantidade de informação RTP perdida (“*RTP total information lost*”), é efectuada com base no facto dos pacotes RTP terem todos o mesmo tamanho, o que possibilita a utilização do valor da quantidade de informação associada a um pacote RTP previamente calculado para outros pacotes RTP.

O factor de qualidade relativo à componente atraso (“*Loss Estimation*”) é calculado tal como descrito na secção 3.5.2 (fórmula (1)), ou seja, considerando a taxa de perdas em termos do número de pacotes associada a cada uma das ligações e a contribuição de cada um dos tipos de pacotes em termos de quantidade de informação. Os valores obtidos para este factor de qualidade “*Loss Estimation*” (considerando uma gama de 0% a 100%, onde 100% corresponde à situação em que a qualidade relacionada com a componente atraso é mais elevada) permitem verificar que quanto maior é a taxa de perdas introduzida, menor é a qualidade do factor relacionado com o atraso.

Analisando as figuras anteriores é possível verificar que os melhores resultados foram obtidos para o caso RTP, o que já era esperado uma vez que não foi possível calcular as

retransmissões TCP utilizando um procedimento tão exacto quanto o implementado para o caso RTP. Como foi descrito na secção 3.1.2, o procedimento utilizado no cálculo da taxa de retransmissões TCP apresenta algumas limitações no que respeita à detecção e identificação deste tipo de eventos. Estas limitações (resultantes do facto da área de análise estar limitada apenas ao próprio terminal) estão relacionadas com a incapacidade existente em termos da detecção do sentido em que ocorreram as perdas (o que se reflete no registo do número de pacotes e informação transmitida) e com a situação particular associada à perda de um pacote TCP no sentido *remotehost*→*localhost* com retransmissão desse mesmo pacote pelo terminal remoto antes que quaisquer outros pacotes sejam enviados por esse mesmo terminal. Nesta situação, o terminal local que está a ser monitorizado não consegue detectar a retransmissão pois desconhece a existência do pacote anteriormente perdido.

Estas limitações juntamente com a inevitável discrepância relacionada com a introdução da taxa de perdas tendo em conta o número de pacotes transmitidos, permitem justificar as diferenças verificadas entre os valores obtidos e as taxas de perdas introduzidas.

Em relação ao caso RTP, o principal ponto a realçar é o elevado grau de exactidão obtido para qualquer uma das situações analisadas, o que comprova a adequabilidade do procedimento adoptado para a estimativa desta métrica.

É possível verificar uma diminuição acentuada do número de pacotes TCP transmitidos com o aumento da taxa de retransmissões. Esta situação demonstra o modo de funcionamento do mecanismo de controlo de fluxo próprio do TCP que tem a capacidade de ajustar o volume de tráfego em função das actuais condições da rede e da qualidade de transmissão (a qual está relacionada com a taxa de retransmissões). Essa acentuada diminuição do número de pacotes TCP capturados é por sua vez responsável pela diminuição do grau de exactidão verificado para as estimativas obtidas para a taxa de perdas de pacotes TCP.

O comportamento face ao fluxo RTP é diferente, uma vez que a quantidade de pacotes transmitidos permanece praticamente inalterada, devido ao facto do protocolo UDP (protocolo de transporte utilizado pelo RTP) não possuir qualquer mecanismo de controlo de fluxo.

Comparando os valores relativos às taxas de perdas estimadas para ambos os protocolos em termos do número de pacotes e quantidade de informação, é possível confirmar que os pacotes associados ao fluxo RTP possuem todos o mesmo tamanho, o que não acontece com o fluxo TCP para o qual a diferença de tamanho entre pacotes está bem evidente nos diferentes valores obtidos para os dois tipos de taxas de retransmissões estimados.

4.2.1.3 Modos de funcionamento

Para analisar a dependência entre os resultados obtidos para a estimativa da qualidade nível 3 e o modo de análise considerado (Genérico, Dados, *Streaming*, Comunicação em tempo real), foram efectuadas diferentes estimativas em condições semelhantes utilizando cada um dos modos disponíveis. Os resultados obtidos utilizando cada um dos modos, considerando um fluxo

de tráfego RTP com uma taxa de perdas de aproximadamente 40%, encontram-se presentes nas figuras 27, 28, 29 e 30.

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
  > RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 41.6667
  > RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 41.6667
  > RTP total number of packets lost: 90
  > RTP total number packets: 216
  > RTP total information lost: 122040
  > RTP total information: 292896
  > RTP average delay [sec]: 0.115815
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 58.3333
  > Delay Estimation: 80.6975
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 69.5154%
Occupation Level [0-100]?: 2.34317%
  Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
  Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----
```

Figura 27 - Modo de funcionamento “Genérico”

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
  > RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 40.8889
  > RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 40.8889
  > RTP total number of packets lost: 92
  > RTP total number packets: 225
  > RTP total information lost: 124752
  > RTP total information: 305100
  > RTP average delay [sec]: 0.120196
QUALITY FACTORS ANALYSIS
  > Loss Estimation: 59.1111
  > Delay Estimation: 79.9673
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 63.2823%
Occupation Level [0-100]?: 2.4408%
  Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
  Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----
```

Figura 28 - Modo de funcionamento “Dados”

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 40.6504
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 40.6504
> RTP total number of packets lost: 100
> RTP total number packets: 246
> RTP total information lost: 135600
> RTP total information: 333576
> RTP average delay [sec]: 0.119111
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 59.3496
> Delay Estimation: 80.1482
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 67.669%
Occupation Level [0-100]?: 2.66861%
Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----
```

Figura 29 - Modo de funcionamento “Streaming”

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 42.0849
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 42.0849
> RTP total number of packets lost: 109
> RTP total number packets: 259
> RTP total information lost: 147804
> RTP total information: 351204
> RTP average delay [sec]: 0.11066
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 57.9151
> Delay Estimation: 81.5566
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 74.4642%
Occupation Level [0-100]?: 2.80963%
Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----
```

Figura 30 - Modo de funcionamento “Comunicação em Tempo Real”

Analisando as figuras anteriores é possível comparar os resultados obtidos utilizando os diferentes modos para a estimativa da qualidade nível 3, os quais atribuem diferentes graus de importância a cada um dos factores de qualidade considerados para o cálculo dessa estimativa. É possível verificar que o valor de qualidade mais elevado é alcançado com o modo "Comunicação em Tempo Real" e o mais baixo é obtido com o modo "Dados". Estes resultados estão de acordo com o esperado, uma vez que o modo "Comunicação em Tempo Real" é aquele que maior importância dá ao factor de qualidade relacionado com o atraso, o qual apresenta um nível de qualidade superior relativamente ao factor de qualidade associado à taxa de retransmissões e perdas, tal como está demonstrado na figura 30.

A análise dos graus de importância associados a cada um dos restantes modos (secção 3.5.2) permite ainda validar as diferenças observadas entre todos eles.

4.2.2 Testes em ambiente *wireless*

Nesta secção são apresentados os diversos testes efectuados em ambiente *wireless*. Tal como na secção anterior, em primeiro lugar é descrito o cenário de teste implementado (secção 4.2.2.1). De seguida são apresentados e analisados os resultados relativos à resposta da rede face à variação do nível de sinal rádio (secção 4.2.2.2) e à estimativa global da qualidade em ambientes *wireless* utilizando as informações associadas aos vários níveis analisados (com referência ao relatório de qualidade gerado com base em toda essa informação - secção 4.2.2.3). Por fim é ainda efectuada uma análise relacionada com o impacto da utilização do programa no terminal móvel em termos de capacidade de processamento e ocupação de memória (secção 4.2.2.4).

Estes testes de desempenho apenas foram realizados em ambiente *wireless* devido ao facto do programa ter sido desenvolvido com o intuito de analisar a qualidade associada a terminais móveis neste tipo de cenários e de apenas neste tipo de ambiente ser possível avaliar os requisitos do programa considerando a acção de todos os módulos simultaneamente uma vez que em ambientes *wired* o módulo para análise da qualidade nível 2 não é utilizado.

4.2.2.1 Cenário de teste

Para a realização dos testes em ambiente *wireless* foi implementado o cenário descrito na figura 31.

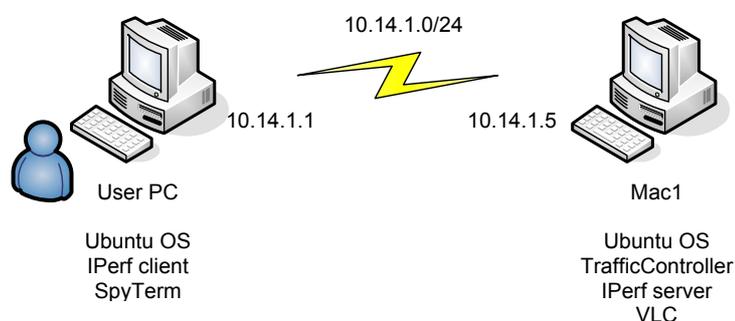


Figura 31 - Cenário de teste em ambiente *wireless*

A transferência de informação continuou a ser efectuada utilizando os PCs 'User PC' e 'Mac1', mas desta vez recorrendo à interface *wireless* disponível em cada um dos terminais.

Os geradores de tráfego continuaram a ser o Iperf para tráfego TCP e o VLC para tráfego RTP. A ferramenta TC (*Traffic Controller*) continuou presente para possibilitar a obtenção de taxas de perdas mais elevadas, necessárias para a obtenção de diferentes valores para a estimativa da qualidade (secção 4.2.2.3).

4.2.2.2 Nível de sinal rádio

Os primeiros testes efectuados em ambiente *wireless* têm como objectivo avaliar a resposta do programa face a uma situação de degradação crescente do sinal rádio e analisar a respectiva variação da taxa de pacotes descartados.

Em primeiro lugar foi executado um teste para validar a informação apresentada pelo programa. O teste efectuado consistiu na monitorização da qualidade nível 2 associada a uma situação de ausência de informação transmitida entre os dois terminais considerados (*'UserPC'* e *'Mac1'*) e posterior comparação dos valores obtidos com a informação recolhida a partir do ficheiro de sistema */proc/net/wireless* (o qual contém informação exacta acerca do actual estado da ligação) nos instantes de início e fim do intervalo de análise considerado.

Os resultados desse teste encontram-se nas figuras 32, 33 e 34.

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 162
> DRIVER Total number of valid packets: 0
> DRIVER Packets discarded rate: 100%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 69%
----- END -----
    
```

Figura 32 - Qualidade nível 2 na ausência de pacotes trocados entre *"UserPC"* e *"Mac1"*

Inter- face	sta- tus	Quality link level noise	Discarded packets nwid crypt frag retry misc	Missed beacon	WE 21
ath0:	0004	69. 230. 161.	4793 0 0 0 0	0	

Figura 33 – Conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* no início do intervalo de análise

Inter- face	sta- tus	Quality link level noise	Discarded packets nwid crypt frag retry misc	Missed beacon	WE 21
ath0:	0004	69. 231. 162.	4956 0 0 0 0	0	

Figura 34 - Conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* no fim do intervalo de análise

Na figura 32 são apresentadas as informações obtidas pelo programa relativamente à qualidade nível 2 associadas a um determinado intervalo de análise caracterizado pela ausência de informação trocada entre os terminais *'UserPC'* e *'Mac1'*. Mais concretamente, é apresentada a qualidade de nível 2 em termos de percentagem obtida com base nos níveis de sinal e de ruído verificados (*"Quality(L2)"*), o número de pacotes válidos trocados entre os terminais *'UserPC'* e *'Mac1'* (*"DRIVER Total number of valid packets"*), o número total de pacotes descartados (*"DRIVER Total number of discarded packets"*) equivalente ao somatório dos campos *"nwid"*, *"crypt"*, *"frag"*, *"retry"* e *"misc"* presentes nas figuras 33 e 34 e a correspondente taxa de pacotes descartados. As figuras 33 e 34 mostram o conteúdo do ficheiro */proc/net/wireless* associado aos instantes inicial e final do intervalo de análise representado na figura 32.

Através da análise da figura 32 é possível verificar que o campo relacionado com o número de pacotes válidos é zero, o que está de acordo com as condições de teste uma vez que

não existiu qualquer tráfego trocado entre os terminais ‘UserPC’ e ‘Mac1’. A estimativa da qualidade nível 2 (69%) está igualmente correcta tendo em conta os valores apresentados nas figuras 33 e 34 associados ao campo “Quality link”. Utilizando as figuras anteriores é igualmente possível validar a informação relacionada com o número de pacotes descartados. Através da comparação do valor obtido pelo programa (162) com a diferença entre o número de pacotes descartados verificado no instante final e inicial do intervalo de análise (4956-4793=163) é possível concluir que a informação apresentada está correcta.

Depois da informação relacionada com a qualidade nível 2 ter sido validada, foram executados os testes de degradação do sinal rádio, cujos resultados se encontram nas figuras 35, 36, 37 e 38:

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 130
> DRIVER Total number of valid packets: 6640
> DRIVER Packets discarded rate: 1.92024%
-----
----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 70%
-----
    
```

Figura 35 - Degradação do nível de sinal rádio (1)

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 39
> DRIVER Total number of valid packets: 6898
> DRIVER Packets discarded rate: 0.562203%
-----
----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 44%
-----
    
```

Figura 36 - Degradação do nível de sinal rádio (2)

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 0
> DRIVER Total number of valid packets: 6154
> DRIVER Packets discarded rate: 0%
-----
----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 25%
-----
    
```

Figura 37 - Degradação do nível de sinal rádio (3)

Inter-	sta-	Quality	Discarded packets	Missed	WE
face	tus	link level noise	nwid crypt frag retry misc	beacon	
ath0:	0004	25. 186. 161.	19874 0 0 0 0	0	21

Figura 38 – Conteúdo do ficheiro /proc/net/wireless associado à figura 37

Nas figuras 35, 36 e 37 são apresentados intervalos de análise da qualidade nível 2 para situações de crescente degradação do sinal rádio. É ainda apresentado na figura 38 o conteúdo do ficheiro /proc/net/wireless associado à informação presente na figura 37.

Actuando sobre a antena da placa wireless é possível verificar uma diminuição significativa da qualidade (70% → 25%) suficiente para demonstrar o funcionamento deste

módulo. Não foi possível obter índices de qualidade superiores a 70%, provavelmente devido à influência dos obstáculos existentes na proximidade da área de radiação do sinal.

Nas figuras anteriores, está ainda disponível informação relacionada com a taxa de pacotes descartados para os vários níveis de sinal considerados. A existência de pacotes descartados reflete a provável interferência proveniente de outras redes *wireless* existentes na proximidade da área de testes. É possível verificar que a diminuição do nível de sinal provoca um decréscimo da taxa de pacotes descartados apesar do número de pacotes válidos não sofrer uma variação significativa. Analisando a figura 38, é possível verificar que apenas o campo “*nwid*”, relacionado com a detecção de pacotes com *ssid* inválido, contribui para a variação do número de pacotes descartados, uma vez que não são detectados pacotes descartados associados a quaisquer outros campos. Com base nestes factos, parece ser possível concluir que a degradação da qualidade do sinal rádio produz melhorias no que respeita às interferências provenientes de outras redes *wireless*, sem afectar significativamente a troca de pacotes entre os dois terminais desde que estes se encontrem suficientemente próximos um do outro (de acordo com as condições de teste consideradas).

4.2.2.3 Estimativa global da qualidade

Depois de todos os módulos terem sido devidamente analisados, foram realizados testes para analisar o funcionamento do programa em termos da sua capacidade de recolha de medidas provenientes de diferentes níveis de forma simultânea e geração do respectivo relatório de qualidade com base em toda essa informação.

A figura 39 apresenta o resultado da monitorização da qualidade num cenário com dois diferentes tipos de ligações (TCP e RTP) simultâneas em ambiente *wireless*, por nível de análise (L2 e L3) e em termos globais (relatório de qualidade) considerando o modo genérico para a estimativa da qualidade nível 3.

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 110
> DRIVER Total number of valid packets: 6674
> DRIVER Packets discarded rate: 1.62146%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 62%
----- END -----

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
> TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 0
> TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 0
> TCP total number of retransmitted packets: 0
> TCP total number of packets: 5176
> TCP total retransmitted information: 0
> TCP total information: 5.07985e+06
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 10.4712
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 10.4712
> RTP total number of packets lost: 60
> RTP total number packets: 573
> RTP total information lost: 81360
> RTP total information: 776988
> RTP average delay [sec]: 0.035749
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 98.6109
> Delay Estimation: 94.0418
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 96.3263%
Occupation Level [0-100]?: 86.768%
Contribution ['Number of Packets']: [90.033% (TCP) , 9.96695% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [86.7337% (TCP) , 13.2663% (RTP)]
----- END -----

----- QUALITY REPORT -----
Global Link Status: GOOD
----- END -----

```

Figura 39 - Estimativa global da qualidade

Através da análise da figura anterior é possível validar a estimativa da qualidade nível 3 (sendo que a qualidade nível 2 tinha sido já analisada na secção anterior) atendendo aos valores obtidos para os dois factores de qualidade “Loss” e “Delay” e considerando o modo de funcionamento genérico (50% “Loss” e 50% “Delay”). É também possível validar a estimativa de cada um desses factores de qualidade (“Loss Estimation” e “Delay Estimation”) considerando os valores obtidos para as taxas de perdas (“TCP retransmission rate in ‘Number of packets” e “RTP loss rate in ‘Number of packets”), para o atraso RTP (“RTP average delay”) e para as contribuições de cada um dos protocolos em termos de quantidade de informação (“Contribution [‘Amount of Information’]”) juntamente com as várias fórmulas de cálculo apresentadas na secção 3.5.2:

$$Qual_1(LossEstimation) = (0 \times 86.7337 + (0.104712) \times 13.2663) \times (-1) + 100 = 98.6109$$

$$Qual_2(DelayEstimation) = \left(\frac{0.035749}{0,6} \right) \times (-100) + 100 = 94.0418$$

Deste modo, é possível concluir que a recolha e processamento de todos os tipos de informação é correctamente efectuada.

As informações obtidas a partir das diversas análises efectadas servem ainda de base à elaboração do relatório de qualidade descritivo do estado actual da ligação, o qual é também correctamente gerado tendo em conta as situações definidas anteriormente na secção 3.5.4.

Foram realizados mais alguns testes para analisar a relação entre os diferentes tipos de medidas para determinadas situações.

Em primeiro lugar, foi analisada a resposta do programa face à degradação do sinal rádio num ambiente sem perdas (para além das já existentes, características do próprio meio *wireless*), considerando ambos os fluxos de tráfego (TCP e RTP).

Os resultados obtidos encontram-se nas figuras 40 e 41.

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 71
> DRIVER Total number of valid packets: 6759
> DRIVER Packets discarded rate: 1.03953%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]#: 68%
----- END -----

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
> TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 0
> TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 0
> TCP total number of retransmitted packets: 0
> TCP total number of packets: 5585
> TCP total retransmitted information: 0
> TCP total information: 5.63682e+06
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 8.12721
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 8.12721
> RTP total number of packets lost: 46
> RTP total number packets: 566
> RTP total information lost: 62376
> RTP total information: 767496
> RTP average delay [sec]: 0.0350564
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 99.026
> Delay Estimation: 94.1573
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]#: 96.5916%
Occupation Level [0-100]#: 94.8788%
Contribution ['Number of Packets']: [90.7982% (TCP) , 9.20176% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [88.016% (TCP) , 11.984% (RTP)]
----- END -----

----- QUALITY REPORT -----
Global Link Status: GOOD
----- END -----
```

Figura 40 - Qualidade degradando o nível de sinal num ambiente sem perdas (1)

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 60
> DRIVER Total number of valid packets: 6797
> DRIVER Packets discarded rate: 0.875018%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]#: 42%
----- END -----

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
> TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: 0.0373972
> TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: 0.0560107
> TCP total number of retransmitted packets: 2
> TCP total number of packets: 5348
> TCP total retransmitted information: 3000
> TCP total information: 5.35612e+06
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 9.64912
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 9.64912
> RTP total number of packets lost: 55
> RTP total number packets: 570
> RTP total information lost: 74580
> RTP total information: 772920
> RTP average delay [sec]: 0.0349151
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 98.7505
> Delay Estimation: 94.1808
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]#: 96.4657%
Occupation Level [0-100]#: 90.8006%
Contribution ['Number of Packets']: [90.3684% (TCP) , 9.63163% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [87.3892% (TCP) , 12.6108% (RTP)]
----- END -----

----- QUALITY REPORT -----
Global Link Status: PROBLEMATIC
> Low level of radio signal.
----- END -----

```

Figura 41 - Qualidade degradando o nível de sinal num ambiente sem perdas (2)

Nas figuras anteriores, a degradação da qualidade da ligação está bem visível, quer através da variação dos valores estimados para a qualidade nível 2, quer através das indicações transmitidas através do relatório de qualidade.

Apesar da evidente degradação do sinal rádio, os factores de qualidade (“Loss” e “Delay”) permanecem praticamente inalterados, continuando a apresentar valores bastante bons. Este facto permite concluir que existem situações em que a análise da qualidade associada a apenas um nível se revela insuficiente para caracterizar correctamente a qualidade global associada a um terminal móvel num determinado instante.

Por fim, foi simulada uma transferência de informação multimédia utilizando RTP e considerando uma degradação progressiva do sinal rádio (tal como no caso anterior) num ambiente condicionado por uma elevada taxa de perdas. Para isso foi necessário introduzir uma taxa de 60% de perdas suplementares recorrendo à ferramenta TC (neste cenário executada no terminal ‘Mac1’).

Os resultados deste teste encontram-se nas figuras 42 e 43.

```
----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 241
> DRIVER Total number of valid packets: 245
> DRIVER Packets discarded rate: 49.5885%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 66%
----- END -----

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
> TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: nan
> TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: nan
> TCP total number of retransmitted packets: 0
> TCP total number of packets: 0
> TCP total retransmitted information: 0
> TCP total information: 0
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 57.9245
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 57.9245
> RTP total number of packets lost: 307
> RTP total number packets: 530
> RTP total information lost: 416292
> RTP total information: 718680
> RTP average delay [sec]: 0.0711927
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 42.0755
> Delay Estimation: 88.1345
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 65.105%
Occupation Level [0-100]?: 10.6471%
Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----

----- QUALITY REPORT -----
Global Link Status: PROBLEMATIC
> High loss rate for low/medium network activity.
----- END -----
```

Figura 42 - Qualidade ligação RTP degradando o nível de sinal num ambiente com perdas (1)

```

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L2) -----
> DRIVER Total number of discarded packets: 29
> DRIVER Total number of valid packets: 233
> DRIVER Packets discarded rate: 11.0687%
----- END -----

----- QUALITY(L2) ESTIMATION -----
Quality(L2) [0-100]?: 36%
----- END -----

----- PARAMETERS VALIDATION and DEBUG INFORMATION (L3) -----
TCP ANALYSIS
> TCP retransmission rate (in 'Number of Packets') [%]: nan
> TCP retransmission rate (in 'Amount of Information') [%]: nan
> TCP total number of retransmitted packets: 0
> TCP total number of packets: 0
> TCP total retransmitted information: 0
> TCP total information: 0
RTP ANALYSIS
> RTP loss rate (in 'Number of Packets') [%]: 60.149
> RTP loss rate (in 'Amount of Information') [%]: 60.149
> RTP total number of packets lost: 323
> RTP total number packets: 537
> RTP total information lost: 437988
> RTP total information: 728172
> RTP average delay [sec]: 0.073814
QUALITY FACTORS ANALYSIS
> Loss Estimation: 39.851
> Delay Estimation: 87.6977
----- END -----

----- QUALITY(L3) ESTIMATION and OCCUPATION LEVEL -----
Quality(L3) [0-100]?: 63.7743%
Occupation Level [0-100]?: 10.7877%
    Contribution ['Number of Packets']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
    Contribution ['Amount of Information']: [0% (TCP) , 100% (RTP)]
----- END -----

----- QUALITY REPORT -----
Global Link Status: PROBLEMATIC
> Low level of radio signal.
> High loss rate for low/medium network activity.
----- END -----

```

Figura 43 - Qualidade ligação RTP degradando o nível de sinal num ambiente com perdas (2)

Analisando as figuras anteriores é possível verificar que apenas foram detectados pacotes RTP como era de esperar, uma vez que, para este teste não foi gerado nenhum fluxo de dados TCP.

A diferença em termos da taxa de pacotes descartados relativamente aos testes anteriores está relacionada com o facto da ocupação da rede ser agora bastante inferior devido à inexistência do fluxo de tráfego TCP.

De acordo com a informação relacionada quer com a taxa de perdas RTP, quer com os relatórios de qualidade presentes em ambas as figuras, é possível detectar as perdas introduzidas utilizando o TC. No relatório de qualidade da figura 43 é feita ainda referência ao baixo nível de sinal, resultante do facto da qualidade nível 2 ser inferior a 50% (tabela 4).

4.2.2.4 Consumos: Processamento e Memória

Tendo em vista a obtenção de alguma informação relacionada com o possível impacto em termos de desempenho, da utilização deste programa no terminal, foram executados alguns testes com o objectivo de avaliar o grau de exigência do programa em termos de capacidade de processamento e memória. Os testes foram realizados considerando cada um dos tipos de fluxo individualmente, de forma a avaliar o desempenho de ambos os módulos (TCP e RTP) num ambiente *wireless*, considerando uma ligação com capacidade de 54Mbps.

Os resultados obtidos para os fluxos de tráfego TCP e RTP encontram-se representados nas figuras 44, 45 e 46 respectivamente.



Figura 44 - Consumos TCP (sem limite histórico)

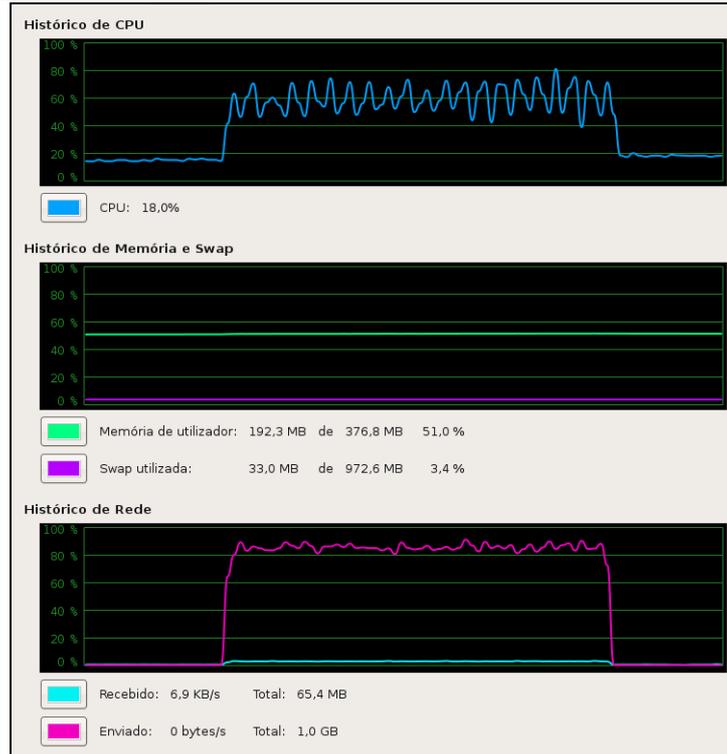


Figura 45 - Consumos TCP (com limite histórico de 50 pacotes)

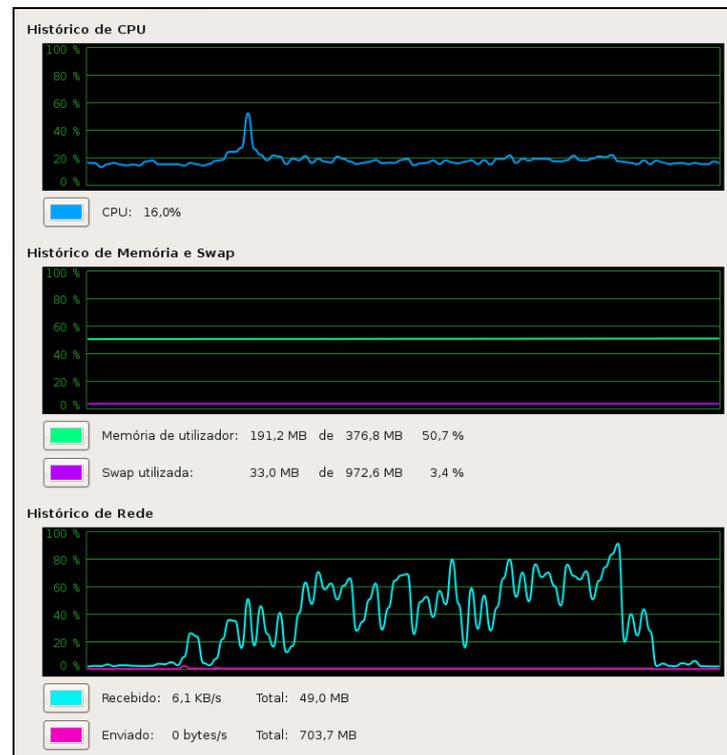


Figura 46 - Consumos RTP

Analisando as figuras anteriores é possível observar as alterações em termos da utilização do CPU, ocupação de memória e actividade da rede.

A variação destes parâmetros é insignificante quando o programa é executado na ausência de quaisquer fluxos. Contudo, se novas ligações se estabelecerem ou terminarem (o que pode ser detectado através da variação da actividade da rede) facilmente se verificam alterações em termos da utilização do CPU apesar de não se verificarem quaisquer alterações em termos de ocupação de memória.

Os resultados representados na figura 44 foram obtidos com o programa configurado para detectar as retransmissões utilizando os *sequence number* de todos os pacotes recebidos até esse momento. Como era de esperar, tal procedimento não é viável pois depressa se atingem taxas de utilização do CPU próximas do limite máximo. Para evitar esta situação é utilizado um mecanismo que restringe o número de pacotes que são utilizados no processo de detecção das retransmissões, sem contudo afectar a qualidade das estimativas obtidas para a taxa de retransmissões. As melhorias em termos da taxa de utilização do CPU são evidentes na figura 45, a qual foi obtida considerando um limite histórico de 50 pacotes.

Relativamente ao fluxo de dados RTP, é possível verificar através da figura 46, que os valores obtidos para a utilização do CPU, ao contrário do que aconteceu para o TCP, não sofrem uma alteração significativa com o início do fluxo RTP, em parte devido à menor ocupação da rede aqui verificada quando comparada com o caso TCP.

4.3 Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os diversos testes efectuados para validar o funcionamento de cada um dos sub-módulos e a resposta do programa utilizando diferentes cenários. Foram várias as situações analisadas, desde a diferença de resultados consoante os diferentes modos considerados para o cálculo da qualidade nível 3 até ao comportamento face à degradação do sinal rádio e à variação da taxa de perdas para diferentes tipos de fluxo.

Os parâmetros envolvidos na estimativa dos vários factores de qualidade não foram ignorados. Em alguns casos esses parâmetros constituíram mesmo os principais pontos de interesse, servindo de base à interpretação dos resultados obtidos.

De acordo com os testes efectuados, foi possível verificar que o comportamento do programa foi, na maior parte das vezes, ao encontro do que era inicialmente esperado.

As taxas de retransmissões e perdas estimadas para os fluxos TCP e RTP, respectivamente, apresentaram um bom nível de exactidão (principalmente para o caso RTP), tendo em conta as restrições iniciais associadas ao facto de apenas se considerar como objecto de análise o próprio terminal do utilizador. Foi verificado que o aumento da taxa de perdas fez baixar bastante o número de pacotes TCP transmitidos resultante da acção do mecanismo de controlo de fluxo próprio deste protocolo. Este facto dificultou a estimativa da respectiva taxa de perdas e acabou por constituir um dos pontos mais críticos de todos os testes efectuados.

Os diferentes modos de cálculo da qualidade nível 3 foram igualmente utilizados com sucesso, já que foi possível visualizar as diferenças resultantes da atribuição de diferentes graus de importância aos dois tipos de factores de qualidade considerados.

Em ambiente *wireless* foi ainda possível observar que a degradação do sinal rádio originou uma diminuição da taxa de pacotes descartados e uma consequente perda de sensibilidade por parte do terminal relativamente a outras redes *wireless* existentes (já que um dos factores que contribuiu para a diminuição da taxa de pacotes descartados foi precisamente o menor número de pacotes com *ssid* inválido detectados).

A estimativa da qualidade utilizando todo o tipo de informação disponível foi também analisada. Foram gerados relatórios de qualidade considerando diferentes condições de teste e, para todos os cenários analisados, a informação apresentada esteve coerente com o valor dos vários parâmetros estimados.

Foi ainda constatado que os requisitos de processamento associados à utilização do programa dependem do tipo de fluxo que está a ser monitorizado e da taxa de utilização da rede. Apesar do caso TCP se ter relevado mais crítico, a utilização de um limitador para o número de pacotes utilizados na detecção de retransmissões TCP possibilitou uma melhoria significativa em termos de consumo de recursos do terminal por parte do programa.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Conclusões

O trabalho descrito nesta dissertação consistiu no desenvolvimento de um programa, constituído por vários sub-módulos, para obter uma estimativa do valor da qualidade global da ligação através da correlação de diversos tipos de informação de diferentes níveis recolhida directamente a partir do terminal.

Este trabalho revelou-se bastante interessante e útil para compreender alguns aspectos chave relacionados com QoS, nomeadamente no que respeita à obtenção e manipulação de métricas de qualidade. A análise relacionada com os diferentes valores de QoE recomendados e com o impacto de cada tipo de métrica em função do tipo de serviço disponibilizado foram outros pontos interessantes. Não menos importantes foram os conhecimentos adquiridos a nível de programação e interacção com o sistema operativo Linux, e os resultantes do estudo relacionado com as diferentes soluções de monitorização existentes.

Com a realização deste trabalho conseguiu-se demonstrar, através dos diferentes tipos de testes efectuados (modulares, integração e sistema), a utilidade em termos individuais de cada um dos módulos no que respeita à estimativa da qualidade associada a cada um dos níveis por eles monitorizados, e a mais valia da análise conjunta dos diferentes tipos de informação tendo em vista a estimativa da qualidade global da ligação e a detecção da origem de diversos tipos de problemas.

Os testes efectuados relacionados com a resposta do programa face a diferentes taxas de perdas e com a monitorização de diferentes fluxos simultaneamente, permitiram observar diferenças importantes entre os protocolos de transporte TCP e UDP (utilizado pelo RTP) como, por exemplo, o facto do TCP retransmitir a informação perdida e ajustar dinamicamente a taxa de transferência de informação em função das condições actuais da rede.

Foi possível simular em ambiente *wireless* o funcionamento integrado de todos os módulos e gerar relatórios de qualidade com base na informação recolhida a partir de cada um dos níveis analisados. Esses relatórios permitem que o utilizador obtenha algumas indicações acerca do estado actual da ligação, sem que para isso tenha de consultar todos os outros parâmetros referentes aos vários níveis analisados, embora essa informação esteja sempre disponível caso seja necessário efectuar uma análise mais pormenorizada.

Os testes relacionados com o consumo de recursos disponíveis no terminal permitiram determinar que a carga introduzida pelo programa está dependente quer do tipo de fluxo que está a ser analisado quer do próprio nível de ocupação da rede. Embora os resultados obtidos para o fluxo TCP tenham sido piores que os associados ao fluxo RTP, esses não deixaram contudo de

ser satisfatórios face às restrições relacionadas com o facto de apenas se analisar o próprio terminal para inferir a qualidade de uma ligação bidireccional, e ao nível de ocupação da rede ser significativamente superior ao verificado para o fluxo RTP.

As principais dificuldades sentidas durante a realização deste trabalho estiveram relacionadas com a escolha do procedimento associado à obtenção da informação relacionada com o tráfego TCP, devido à falta de informação relativamente a algumas das alternativas inicialmente consideradas, e com a estimativa da taxa de retransmissões TCP em cenários com elevadas taxas de perdas e conseqüentemente com baixo número de pacotes transmitidos.

Este trabalho permitiu verificar que a aparente fragilidade deste tipo de análise, que apenas utiliza a informação do próprio terminal, não a torna de maneira nenhuma dispensável, antes pelo contrário. Este tipo de análise pode ser utilizada em variadíssimas situações para complementar as típicas análises QoS fim a fim, uma vez que permite colmatar algumas das limitações destas técnicas, nomeadamente no que respeita à detecção e identificação de problemas no último troço da ligação, entre os terminais e os *routers* de acesso, os quais são muitas vezes difíceis de serem analisados pelos operadores.

5.2 Trabalho Futuro

Existe um vasto conjunto de actividades que poderão ser efectuadas como complemento do trabalho até agora realizado.

Alguns pontos interessantes seriam:

- Estudo relacionado com a aplicabilidade de algumas das alternativas enumeradas para obtenção de informação directamente a partir do tráfego TCP.
- Melhoramento do módulo de *software* através da utilização de novas fontes de informação e do aumento do número de cenários contemplados pelos relatórios de qualidade, de forma a possibilitar uma estimativa ainda mais exacta e abrangente da qualidade da ligação.
- Proposta de novas metodologias relacionadas com o cálculo das estimativas de qualidade para com os diferentes níveis de análise.
- Análise de desempenho do módulo desenvolvido em ambientes de teste mais diversificados e complexos.
- Integração deste software de monitorização no projecto de investigação europeu DAIDALOS (*Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services*) ([42]).
- Estudo relacionado com a forma através da qual o terminal deve reportar a outros elementos de rede a informação por ele obtida.

- Estudo relacionado com a forma como deve ser efectuada a gestão da informação proveniente de vários terminais, tendo em vista o melhoramento da QoS fornecida a cada utilizador.

Referências

[1] - Savage S., "Sting: A TCP-based Network Measurement Tool", University of Washington, EUA, 1999.

[2] - Savage S., "Sting: A tool for measuring one way packet loss.", In Proceedings of IEEE INFOCOM '00, Tel Aviv, Israel, Abril 2000.

[3] - Sommers J., P. Barford, N. Duffield, A. Ron, "Improving Accuracy in End-to-end Packet Loss Measurement", SIGCOMM'05, Filadélfia, EUA, 2005

[4] - Tsang Y., M. Yildiz, P. Barford, and R. Nowak, "Network radar: tomography from round trip time measurements.", IMC, Itália, 2004

[5] - Moulhierac J., M. Molnar, "Active Monitoring of Link Delays in Case of Asymmetric Routes", University of Rennes I, França, 2006

[6] - Corral J., G. Texier, L. Toutain, "End-to-end active measurement architecture in IP Networks (SATURNE)", ENST Bretagne RSM Department, 2003

[7] - Strauss J., D. Katabi, F. Kaashoek, "A Measurement Study of Available Bandwidth Estimation Tools.", Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference (IMC03), Miami, Florida, Novembro 2003.

[8] - Navratil J., R. L. Cottrell, "ABwE: A Practical Approach to Available Bandwidth Estimation", Passive and Active Measurement Workshop (PAM), Março 2003

[9] - Vinay J. Ribeiro, R. H. Riedi, R. G. Baraniuk, J. Navratil, L. Cottrell, "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths.", Passive and Active Measurement Workshop, 2003

[10] - Changhua Zhu, Changxing Pei, Yunhui Yi, Dongxiao Quan, "Active Probe of Available Bandwidth: Analysis and Improvement", State Key Lab. of Integrated Services Networks, Xidian University, China, 2005

[11] - Labit Y., P. Owezarski, N. Larrieu, "Evaluation of Active Measurement Tools for Bandwidth Estimation in Real Environment", França, 2005

[12] - *NeTraMet home page:*

<http://www.caida.org/tools/measurement/netramet/>

[13] - *NetFlow home page:*

http://www.cisco.com/en/US/products/ps6601/products_ios_protocol_group_home.html

[14] - *Masuda Masataka, Takanori Hayashi, "Non-intrusive Quality Monitoring Method of VoIP Speech Based on Network Performance Metrics", IEICE TRANS. COMMUN., Fevereiro 2006*

[15] - *VQmon home page:*

<http://www.telchemy.com/vqmonep.html>

[16] - *IP Security Protocol*

Kent S., K. Seo, "Security Architecture for the Internet Protocol", RFC 4301, Dezembro 2005

[17] - *Kharrazi Mehdi, Subhabrata Sen, Oliver Spatscheck, "Towards Real-Time Performance Monitoring for Encrypted Traffic", AT&T Labs Research, Florham Park, NJ, 2007*

[18] - *Landfeldt Bjorn, Pipat Sookavatana, Aruna Seneviratne, "The Case for a Hybrid Passive / Active Network Monitoring Scheme in the Wireless Internet", New South Wales University and Mahanakorn University, 2000*

[19] - *Aida Masaki, Keisuke Ishibashi, Toshiyuki Kanazawa, "CoMPACT-Monitor: Change-of-Measure based Passive/Active Monitoring – Weighted Active Sampling Scheme to Infer QoS", NTT Corporation, Japão, 2002*

[20] - *Aida Masaki, Naoto Miyoshi, Keisuke Ishibashi, "A Scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approches – On the Mathematical Formulation of CoMPACT Monitor", NTT Corporation, Japão, 2003*

[21] - *Yeo Jihwang, Suman Banerjee, Ashok Agrawala, "Measuring traffic on the wireless medium: Experience and pitfalls", Department of Computer Science, Maryland University, Dezembro 2002.*

[22] - *Paquereau Laurent, Brynjar Viken, Poul Heegaar, "Combining performance monitoring and location data in wireless networks", Telenor R&D e Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Noruega, 2005*

[23] - Soldani David, "Means and Methods for Collecting and Analyzing QoE Measurements in Wireless Networks", *Proceedings International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia*, 2006

[24] - *Packet Data Protocol*

Bettstetter Christian, Hans-Jorg Vogel, Jorg Eber Spacher, "GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols and Air Interface", *IEEE Communications Surveys, Third Quarter 1999, vol. 2 n°3*.

[25] - *Synchronization Markup Language Protocol for Device Management*

"SyncML Device Management Security", 2002

[26] - Hayashi Takanori, Masataka Masuda, Toshiko Tominaga, Kazuhisa Yamagishi, "Non-intrusive QoS Monitoring Method for Realtime Telecommunication Services", Japão, Abril 2006

[27] - Solução ArQoS

<http://www.ptinovacao.pt/english/produtos/netband/ArQoS.pdf>

[28] - Solução ArQoS_2

http://www.ptinovacao.com.br/download.do?image=/pdf/ArQoS_2006.pdf

[29] - ITU Recomendação G.1010

ITU-T Recommendation G.1010: End-user multimedia QoS categories, 2002

[30] - DSL Forum

<http://www.dslforum.org>

[31] - *Triple-Play QoE*

Architecture & Transport Working Group, "Technical Report: Triple-Play Services Quality of Experience (QoE) Requirements", Dezembro 2006

[32] - *Linux Gazette*

<http://linux.drivein-jim.net/>

[33] - *TCP and Linux Pluggable Congestion Control Algorithms*

<http://linux.drivein-jim.net/135/pfeiffer.html>

[34] - *Measuring TCP Congestion Windows*

<http://linux.drivein-jim.net/136/pfeiffer.html>

Referências

[35] - *Measuring Congestion Windows of TCP Senders*

<http://linux.drivein-jim.net/137/pfeiffer.html>

[36] - Ferramenta de monitorização *Trafshow*

<http://linux.maruhn.com/sec/trafshow.html>

[37] - Biblioteca *pcap.h*

<http://www.tcpdump.org/pcap.htm>

[38] - Gerador de tráfego *packETH*

<http://packeth.sourceforge.net>

[39] - Aplicação Video Lan Client (*VLC*)

<http://videolan.org/vlc>

[40] - *Iperf home page*

<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>

[41] - *TC - Network Emulation Functionality*

<http://www.linux-foundation.org/en/Net:Netem>

[42] - Projecto *DAIDALOS*

<http://www.ist-daidalos.org/>

[43] - *Transmission Control Protocol*

“*Transmission Control Protocol*”, RFC 793, Setembro 1981

[44] - *TCP - Controlo Congestionamento*

Allman M., V. Paxson, W. Stevens, “*TCP Congestion Control*”, RFC2581, Abril 1999

[45] - *Real-Time Transport Protocol*

Schulzrinne H., S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, “*RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*”, RFC 3550, Julho 2003

[46] - *User Datagram Protocol*

Postel J., “*User Datagram Protocol*”, RFC 768, Agosto 1980

[47] - *Resource ReSerVation Protocol*

Braden R., L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "Resource ReSerVation Protocol", RFC 2205, Setembro 1997

[48] - RTP - Perfil para conferências com mínimo controlo

Schulzrinne H., S. Casner, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", RFC 3551, Julho 2003

[49] - IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

<http://www.ieee.org>

[50] - Norma IEEE para tecnologia *Wi-Fi 802.11b*

IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.11b", 16 Setembro 1999

[51] - Revisão da norma IEEE para tecnologia *Wi-Fi 802.11b*

IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.11b – Corrigendum 1", 7 Novembro 2001

[52] - Norma IEEE para tecnologia *Wi-Fi 802.11g*

IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.11g", 27 Junho 2003

[53] - Norma IEEE para tecnologia *Wi-Fi 802.11*

IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.11", 1999

Anexos

Este capítulo de anexos contém informação suplementar relacionada com alguns pontos importantes para o trabalho apresentado no âmbito desta dissertação.

As secções que constam deste capítulo de anexos são:

Anexo A: Nesta secção é apresentado e analisado o protocolo TCP;

Anexo B: Nesta secção é apresentada a tabela com os elementos da estrutura *tcp_info*, a qual foi analisada tendo em vista a sua possível utilização como base para a obtenção de métricas de desempenho relacionadas com as ligações TCP;

Anexo C: Nesta secção é apresentado e analisado o protocolo RTP;

Anexo D: Nesta secção são apresentados e caracterizados os principais protocolos das redes domésticas sem fios com referência à informação disponibilizada pelos principais sistemas operativos.

Anexo A: O Protocolo TCP

A.1 Aspectos Gerais

O TCP (*Transmission Control Protocol*) ([43]) é um protocolo de transporte utilizado actualmente por um grande número de serviços. O facto de ser um protocolo orientado à ligação faz com que, ao contrário de outros protocolos como por exemplo o UDP, seja capaz de resolver alguns problemas associados às próprias ligações, como erros de transmissão e desordenação, duplicação ou mesmo perda de pacotes.

Numa ligação TCP as mensagens são divididas em datagramas, os quais são posteriormente entregues à camada IP que se responsabiliza por os transmitir. O TCP é também responsável por efectuar o reagrupamento desses datagramas enviados, assim como pela retransmissão dos datagramas perdidos na rede.

A técnica da divisão das mensagens em datagramas permite resolver os problemas resultantes das limitações que a própria rede impõe em termos do tamanho dos pacotes. Desta forma, após ser determinado o tamanho máximo dos pacotes suportado pela rede, o TCP divide as mensagens em datagramas com um tamanho adequado, e acrescenta um cabeçalho a cada uma dessas partes da mensagem que contém toda a informação necessária para que a mensagem possa ser reagrupada no destino, assim como outros dados relacionados com a ligação em si.

A análise do cabeçalho TCP permite obter indicações importantes acerca do estado actual da rede. O SN (*Sequence Number*) é um dos campos mais importantes, uma vez que permite a detecção de retransmissões resultantes da perda de pacotes ou simplesmente de trocas de ordem

durante a transmissão através da rede. Outros campos importantes são o AN (*Acknowledgment Number*) e o *Window* os quais fornecem informações sobre o receptor, nomeadamente confirmação da recepção ou não dos pacotes enviados e capacidade para receber informação.

Como protocolo fiável que é, o TCP exige que o emissor seja notificado sempre que o receptor recebe um pacote por si enviado. Se o emissor não receber a confirmação de recepção do pacote (*acknowledgment*) dentro de um determinado período de tempo, então assume que o pacote foi perdido e procede à sua retransmissão.

Dois processos importantes relacionados com o controlo de congestionamento do TCP ([44]) são: *fast retransmit* e *fast recovery*.

Caso o receptor suporte *fast retransmit*, então nas situações em que receber um pacote com um SN superior ao esperado, assume por defeito que possivelmente existiram perdas de pacotes. Deste modo, alerta o emissor para essa situação através do envio de um pacote onde o AN terá o valor do SN que está em falta. Esta acção repete-se sempre que o receptor recebe um novo segmento com um SN superior ao esperado. Por seu lado, o emissor ao receber um conjunto de pacotes com ANs duplicados a confirmar a recepção dum mesmo SN menor que o SN do segmento que está actualmente a ser enviado, assume igualmente que alguns segmentos se perderam. Nesta situação, se o emissor suportar *fast retransmit*, procede ao envio dos segmentos em falta de forma a colmatar as falhas de pacotes do lado do receptor sem esperar que se esgote o *timeout* necessário para que ocorram as retransmissões dos pacotes perdidos. Esta optimização introduz uma melhoria em termos de desempenho, principalmente num ambiente de sobrelotação da rede.

Devido ao *fast retransmit*, os *timeouts* podem não ser atingidos para os segmentos em falta e, por conseguinte, esses segmentos em falta são recebidos e confirmados por parte do receptor mais rapidamente do que no caso em que não existe *fast retransmit*. Desta forma, o emissor não tem de baixar tão drasticamente a janela de transmissão de pacotes e pode enviar mais rapidamente novos segmentos para o receptor. Este processo é conhecido como *fast recovery*.

A.2 Cabeçalho TCP

O cabeçalho TCP apresenta diversos campos com informação relevante no que respeita à caracterização da ligação. A constituição do cabeçalho TCP encontra-se presente na figura 47.

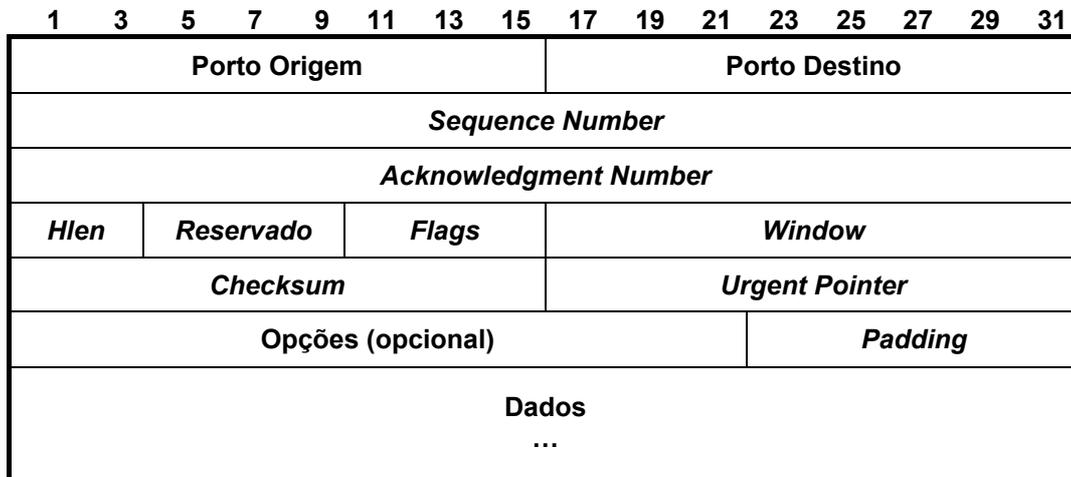


Figura 47 - Cabeçalho TCP

- **Porto Origem:** Número do porto utilizado pela aplicação no terminal de origem.
- **Porto Destino:** Número do porto utilizado pela aplicação no terminal de destino.
- **Sequence Number:** Identifica qual a posição do segmento enviado dentro da mensagem (indica a contagem para o último *byte* enviado, a partir de um valor inicial aleatório).
- **Acknowledgment Number:** Indica o valor de sequência do *byte* esperado (utilizado para confirmar a recepção dos segmentos enviados anteriormente).
- **Hlen:** Tamanho do cabeçalho (em palavras de 32 *bits*).
- **Reservado:** Campo reservado para uso futuro.
- **Flags:** Conjunto de *flags* de sinalização (activas caso o nível lógico seja '1')
 - *URG:* Campo *Urgent Pointer* válido;
 - *ACK:* Campo *Acknowledgment* válido;
 - *PSH:* Dados requerem um *Push*;
 - *RST:* Fazer *Reset* à ligação;
 - *SYN:* Sincronizar *Sequence Number*;
 - *FIN:* Origem terminou o envio de informação.
- **Window:** Permite ao receptor informar o emissor acerca do número de octetos que tem capacidade para receber.
- **Checksum:** Este campo é calculado através da soma de todos os octetos do datagrama e permite detectar erros durante a transmissão através da comparação dos valores deste campo na origem e posteriormente no destino.
- **Urgent Pointer:** Usado pela origem para indicar onde se encontra algum dado urgente dentro do segmento.
- **Opções:** Campo opcional reservado para informação complementar.

- **Padding:** Garante que o cabeçalho tem sempre um tamanho múltiplo de 32 *bits* nos casos em que o campo **opções** é usado.
- **Dados:** Campo reservado para a informação a ser transmitida.

A.3 Sessões TCP

Existem três fases principais associadas a uma ligação TCP: estabelecimento da ligação (figura 48), transferência de informação (figura 49) e terminação da ligação (figura 50).

Tipicamente podem considerar-se duas entidades principais: a aplicação terminal (cliente) e a aplicação servidor (servidor).

O cliente inicia o processo de estabelecimento da ligação através do envio de um pacote TCP com a *flag* SYN activa. Após receber esse pacote, o servidor responde enviando um pacote com as *flags* SYN e ACK activas. Por sua vez, o cliente confirma a recepção desse último pacote, enviando um outro pacote com a *flag* ACK activa. Durante o estabelecimento da ligação é feita a sincronização dos SNs entre as duas entidades para que cada uma saiba qual o SN esperado nos pacotes que recebe. Existe um *timeout* associado à confirmação da recepção do primeiro pacote enviado pelo cliente, ao fim do qual um novo pacote com a *flag* SYN activa é enviado.

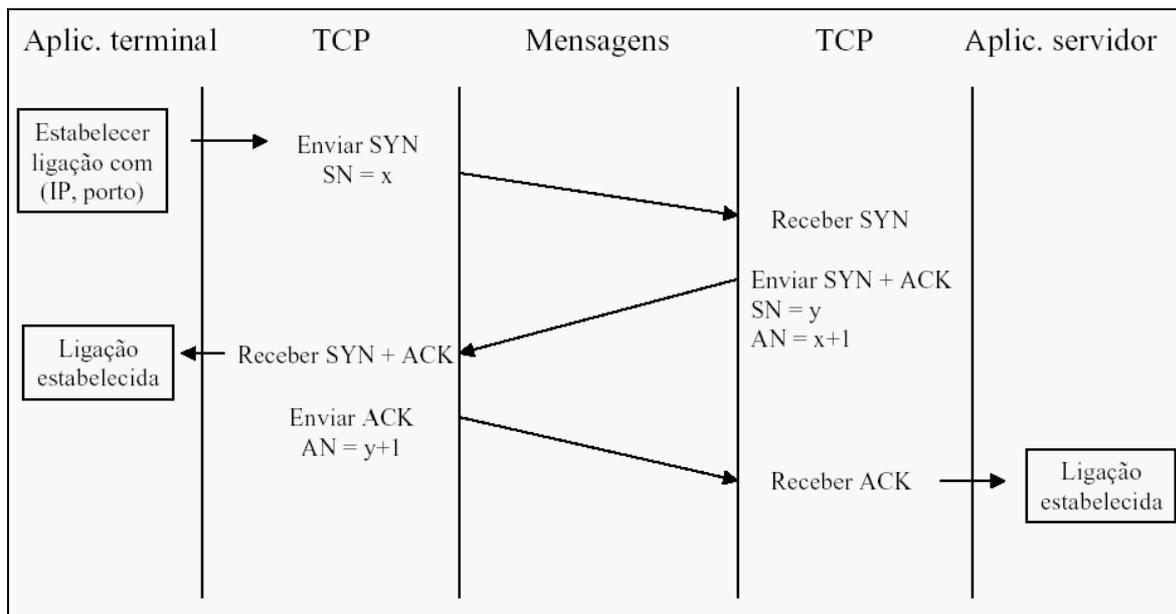


Figura 48 - Estabelecimento de uma ligação TCP

Após o estabelecimento da ligação, pode então começar a transferência de informação. O controlo do fluxo de informação em ambos os sentidos é realizado através da utilização dos campos SN, AN e *window*. O emissor determina o seu próprio SN enquanto que o receptor confirma a recepção do segmento preenchendo o AN com base na informação contida no SN do emissor.

Quanto ao ritmo de transmissão, este seria seriamente afectado caso fosse necessário esperar pela confirmação dum pacote transmitido antes de proceder ao envio do pacote seguinte. No entanto, uma vez que também não seria viável o envio indiscriminado de pacotes sem uma garantia de que os pacotes estariam de facto a ser recebidos, recorre-se ao campo *window*, que indica o número de pacotes que podem ser enviados antes de serem recebidas confirmações, para controlar o ritmo de transferência de dados.

Para garantir um determinado grau de fiabilidade, cabe ao receptor confirmar a recepção de um determinado número de *bytes* contíguos através da utilização do AN com a respectiva actualização do campo *window*. Existe ainda a possibilidade do receptor confirmar a recepção de blocos de dados fora da ordem esperada graças ao *selectiveACK*. Estas confirmações de recepção podem também ser utilizadas pelo emissor para determinar o estado de congestionamento da rede.

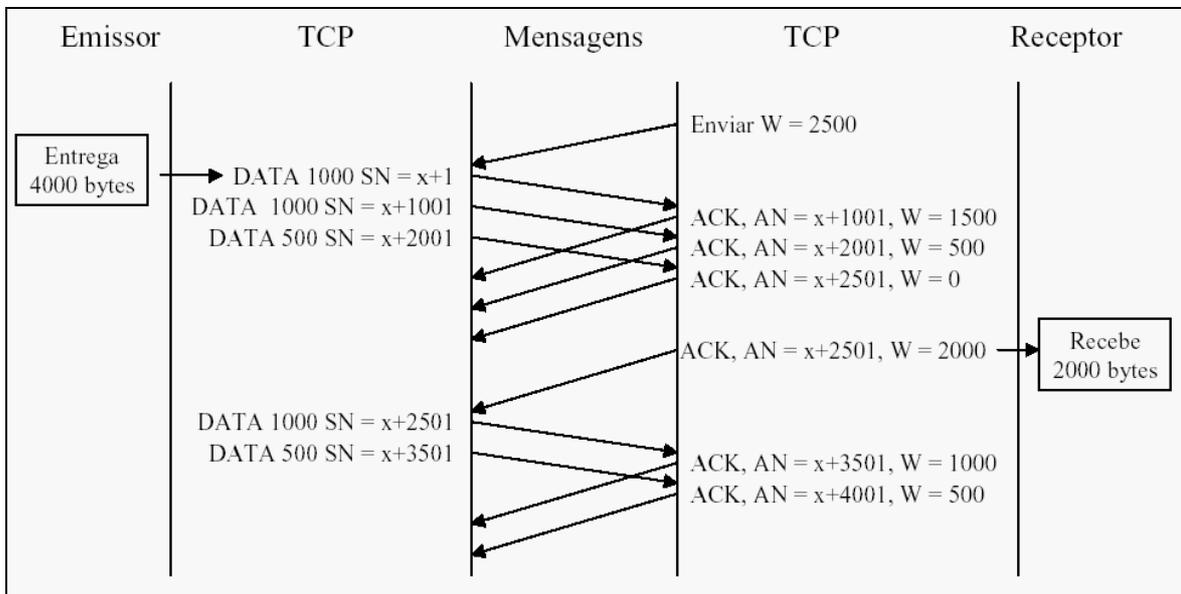


Figura 49 - Transferência de informação TCP

Para terminar uma ligação TCP é necessário o envio de quatro pacotes. Cada um dos intervenientes na ligação (cliente e servidor) é responsável por encerrar o seu lado da ligação. Sendo assim, quando uma das entidades decide terminar a ligação envia um pacote com a *flag* FIN activa. Após receber este pacote, o outro interveniente envia um pacote de confirmação com a *flag* ACK activa seguido de um pacote destinado a encerrar a ligação do seu lado (com *flags* FIN e ACK activas), ao qual a entidade que deu início ao processo de encerramento responde com o envio de um novo pacote de confirmação.

Por vezes, pode ocorrer que um dos intervenientes não termine a sessão do seu lado. Nesse caso, ao qual se dá o nome de ligação semi-aberta, o lado que não encerrou a sessão pode continuar a enviar informação (sem que esta chegue ao destino), embora não receba resposta do lado que já a terminou.

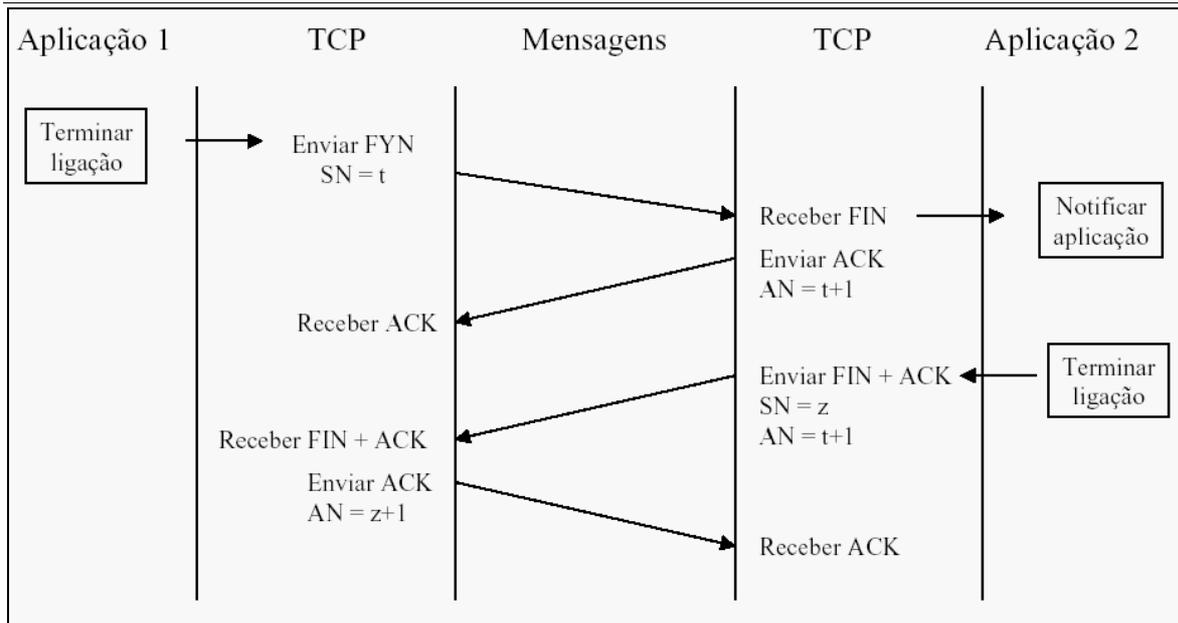


Figura 50 - Terminação de uma ligação TCP

Anexo B: Estrutura *tcp_info*

Os campos da estrutura *tcp_info* encontram-se presentes na tabela 5:

<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_state;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_ca_state;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_retransmits;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_probes;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_backoff;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_options;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_snd_wscale : 4;</i>
<i>u_int8_t</i>	<i>tcpi_rcv_wscale : 4;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_rto;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_ato;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_snd_mss;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_rcv_mss;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_unacked;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_sacked;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_lost;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_retrans;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_fackets;</i>
<i>/* Times */</i>	
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_last_data_sent;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_last_ack_sent;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_last_data_rcv;</i>
<i>u_int32_t</i>	<i>tcpi_last_ack_rcv;</i>

Tabela 5 - Campos da estrutura *tcp_info*

/* Metrics */	
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_pmtu;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_rcv_ssthresh;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_rtt;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_rttvar;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_snd_ssthresh;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_snd_cwnd;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_advmss;</code>
<i>u_int32_t</i>	<code>tcpi_reordering;</code>

Tabela 5 (cont.) - Campos da estrutura *tcp_info*

Anexo C: O Protocolo RTP

C.1 Aspectos Gerais

Apesar de muito utilizado actualmente como suporte para uma grande variedade de serviços, o TCP possui certas características que o tornam inadequado para a transmissão de informação em tempo real. Um exemplo desses inconvenientes é a utilização de retransmissões como forma de superar as perdas de dados na rede. O facto do TCP ser um protocolo orientado à ligação (e portanto não apropriado para *multicast*), juntamente com a não limitação em termos de tamanho de dados e a falta de informação temporal, tornam-no num protocolo pouco adequado para a comunicação em tempo real.

O RTP (*Real-time Transport Protocol*) ([45]) é um protocolo utilizado para o transporte de tráfego *unicast* e *multicast* com requisitos temporais estritos e que utiliza o UDP (*User Datagram Protocol*) ([46]) como protocolo de transporte. O UDP apresenta um cabeçalho consideravelmente mais simples que o do TCP, formado apenas por quatro campos diferentes tal como se pode observar na figura 51.

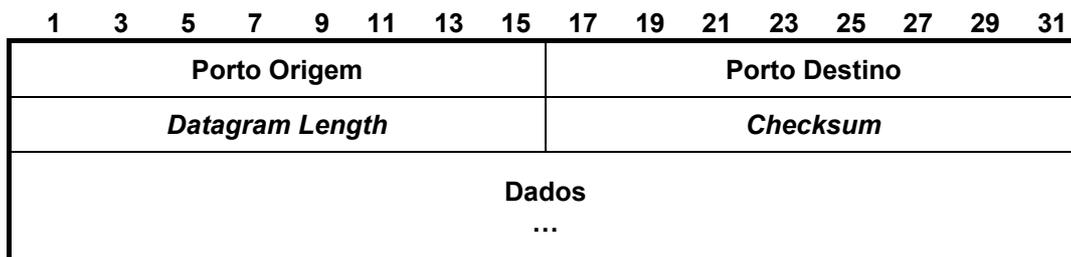


Figura 51 - Cabeçalho UDP

- **Porto Origem:** Número do porto utilizado pela aplicação no terminal de origem.
- **Porto Destino:** Número do porto utilizado pela aplicação no terminal de destino.
- ***Datagram Length*:** Número total de octetos do datagrama (cabeçalho UDP + dados).
- ***Checksum*:** É calculado com base no *pseudoheader* (que contém informação relacionada com os cabeçalhos IP e UDP), e em todo o datagrama UDP e permite a

validação do cabeçalho do pacote. A inclusão do *pseudoheader* permite verificar se o pacote foi enviado entre os extremos correctos.

A adequação do UDP para a transmissão de pacotes RTP reside principalmente no facto deste protocolo de transporte não possuir mecanismos de controlo, quer de fluxo quer de congestionamento.

O RTP fornece um conjunto de serviços como identificação do pacote, sequenciação, *timestamping* e *feedback*, contudo não garante quaisquer reservas de recursos ou qualidade de serviço, o que o torna dependente de outros protocolos como o RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) ([47]) que garantam a qualidade de serviço mínima exigida.

Para além do suporte para tráfego *multicast* já referido anteriormente e da base de tempos para os fluxos, o protocolo RTP permite a identificação do conteúdo dos dados e é capaz de detectar mudanças de ordem ou mesmo perdas através da numeração dos pacotes.

O facto do RTP ser utilizado apenas para transmitir os dados faz com que seja necessário utilizar um outro protocolo, designado por RTCP (*Real-Time Transport Control Protocol*) que será responsável por monitorizar a ligação através do envio da informação de controlo necessária. Apesar do RTP e RTCP serem utilizados paralelamente, os pacotes de cada um dos protocolos é transmitido de forma independente.

C.2 Cabeçalho RTP

Os vários campos do cabeçalho dum pacote RTP encontram-se representados na figura 52.

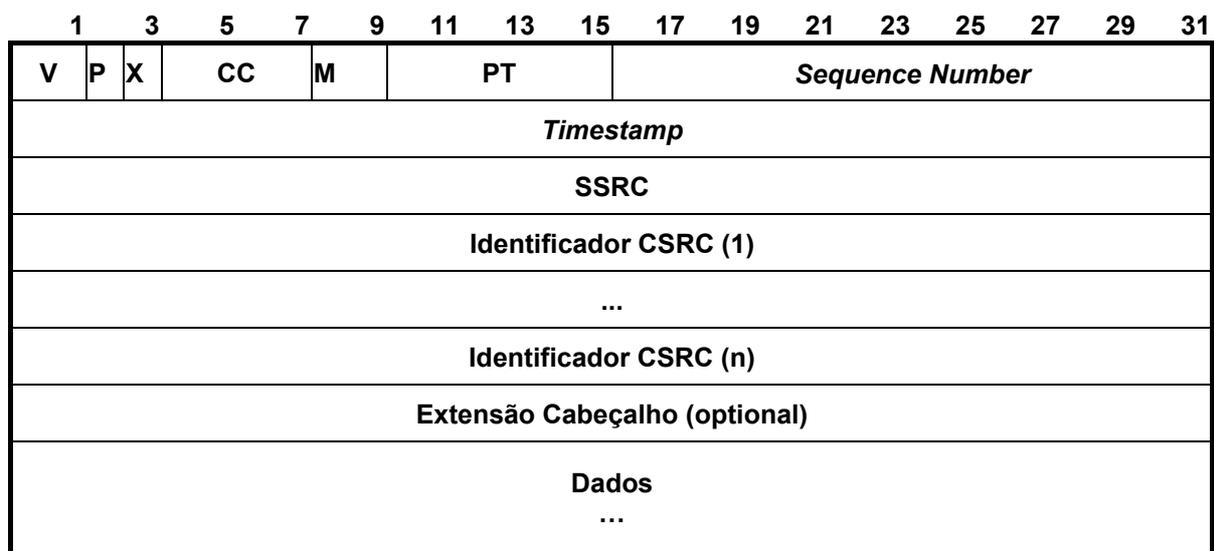


Figura 52 - Cabeçalho RTP

- **V (Version) (2 bits):** Indica a versão utilizada.
- **P (Padding) (1 bit):** *Flag* utilizada para sinalizar a existência de um ou mais octetos adicionais no final do pacote que não fazem parte dos dados, e como tal devem ser ignorados. A utilização desses octetos está relacionada com a necessidade dos blocos terem um tamanho fixo. O último desses octetos possui informação relacionada com o número de octetos que foram inseridos.
- **X (Extension) (1 bit):** *Flag* que indica a existência ou não de uma extensão de cabeçalho.
- **CC (CSRC Count) (4 bits):** Quantidade de identificadores CSRC (entre 0 e 15) presentes no cabeçalho.
- **M (Marker) (1 bit):** Utilizado pela aplicação para marcar certos pacotes.
- **PT (Payload Type) (7 bits):** Utilizado para identificar o tipo de dados do pacote.
- **Sequence Number (SN) (16 bits):** Utilizado para ordenar os pacotes de uma ligação. O primeiro pacote possui um SN aleatório. Os restantes possuem um SN igual ao anterior incrementado de uma unidade. Este campo é também útil para detectar perdas de pacotes.
- **Timestamp (32bits):** Instante de tempo em que o primeiro octeto de dados foi gerado. Utilizado para obter o “tempo de *play*”.
- **SSRC (Synchronization Source) (32 bits):** Identifica as fontes de sincronização. Estes identificadores são escolhidos de forma aleatória por cada participante numa sessão RTP.
- **CSRC (Contributing Source) (32 bits):** Identifica as fontes que contribuem para a formação dos dados contidos no pacote. Aplica-se a pacotes gerados por Misturadores.
- **Dados:** Campo reservado para a informação a ser transmitida.

C.3 Sessão RTP e tipos de carga

Um conceito importante associado a uma sessão RTP é o conceito de “Núvem”. Define-se “Nuvem de Transporte” como sendo o conjunto formado pelos emissores, receptores e “*relays*” de fluxos de pacotes que partilham direcções de destino e pares comuns de portos de destino (RTP, RTCP) sobre UDP.

Os “*Relays*” podem ser de dois tipos: tradutor e misturador. Os tradutores são elementos utilizados para adaptar o fluxo modificando o formato dos dados. Contudo, nenhuma alteração é efectuada ao nível quer do SSRC quer do *timestamp*. Os misturadores, por sua vez, actuam sobre vários fluxos de entrada tendo em vista a geração de apenas uma saída. Como resultado da acção dos misturadores, tanto o SSRC como o CSRC sofrerão alterações. Mais concretamente,

os valores dos SSRCs de cada um dos fluxos serão guardados como CSRCs, ficando o campo SSRC reservado para o próprio misturador.

O tipo de dados transportado por um fluxo vem identificado no campo *payload type* que pode assumir um conjunto amplo de valores distintos. Uma lista contendo o conjunto de valores inicialmente definidos para a *payload* ([48]) encontra-se na tabela 6.

Pt	encoding name	audio/video (A/V)	clock rate (Hz)	channels (audio)
0	PCMU	A	8000	1 [RFC3551]
1	Reserved			
2	Reserved			
3	GSM	A	8000	1 [RFC3551]
4	G723	A	8000	1 [Kumar]
5	DVI4	A	8000	1 [RFC3551]
6	DVI4	A	16000	1 [RFC3551]
7	LPC	A	8000	1 [RFC3551]
8	PCMA	A	8000	1 [RFC3551]
9	G722	A	8000	1 [RFC3551]
10	L16	A	44100	2 [RFC3551]
11	L16	A	44100	1 [RFC3551]
12	QCELP	A	8000	1
13	CN	A	8000	1 [RFC3389]
14	MPA	A	90000	[RFC3551][RFC2250]
15	G728	A	8000	1 [RFC3551]
16	DVI4	A	11025	1 [DiPol]
17	DVI4	A	22050	1 [DiPol]
18	G729	A	8000	1
19	reserved	A		
20	unassigned	A		
21	unassigned	A		
22	unassigned	A		
23	unassigned	A		
24	unassigned	V		
25	CelB	V	90000	[RFC2029]
26	JPEG	V	90000	[RFC2435]
27	unassigned	V		
28	nv	V	90000	[RFC3551]
29	unassigned	V		
30	unassigned	V		
31	H261	V	90000	[RFC2032]
32	MPV	V	90000	[RFC2250]
33	MP2T	AV	90000	[RFC2250]
34	H263	V	90000	[Zhu]
35--71	unassigned	?		
72--76	reserved for RTCP conflict avoidance			[RFC3550]
77--95	unassigned	?		
96--127	dynamic	?		[RFC3551]

Tabela 6 - RTP Payload Types

Anexo D: Camadas de nível inferior - Interface 802.11

Actualmente as redes sem fios (denominadas de redes *wireless* ao longo da Dissertação) são utilizadas numa grande diversidade de ambientes. Ao longo dos tempos foram sendo definidos pelo IEEE ([49]) normas capazes de suportar taxas de transmissão cada vez mais elevadas.

Os padrões mais comuns actualmente para redes *wireless* domésticas são o 802.11b ([50], [51]) e o 802.11g ([52]).

O aparecimento do padrão IEEE 802.11b resultou da evolução natural do padrão original 802.11 ([53]). A principal melhoria está relacionada com o aumento da taxa máxima de transferência para 11 *Mbps* apesar de continuar a ser possível utilizar a velocidade de 2*Mbps* (velocidade máxima do *standard* 802.11). No entanto, o facto deste *standard* utilizar a frequência não regulada de 2.4GHz tal como o seu antecessor, faz com que seja frequente a degradação da qualidade da ligação devido à existência de interferências.

O padrão IEEE 802.11g permite uma taxa máxima de transmissão de 54*Mbps* utilizando a mesma frequência não regulada, o que por um lado assegura a compatibilidade com o *standard* anterior (802.11b) mas por outro, não garante a robustez ideal no que respeita a interferências exteriores.

As características de ambos os padrões/protocolos encontram-se presentes na tabela 7.

Protocolo	Frequências de operação	Throughput (Típico)	Taxa de transmissão (Max)	Técnica de Modulação	Alcance (Raio interior)	Alcance (Raio exterior)
802.11b	2.4 GHz	4.3 Mbit/s	11 Mbit/s	DSSS	~38 Metros	~140 Metros
802.11g	2.4 GHz	19 Mbit/s	54 Mbit/s	OFDM	~38 Metros	~140 Metros

Tabela 7 - Características dos principais protocolos das redes domésticas sem fios

Em ambientes de redes sem fios a informação obtida directamente a partir da placa de rede é muitas vezes suficiente para o utilizador comum avaliar de forma rápida a qualidade da ligação que dispõe num dado momento. Parâmetros como a qualidade da ligação ou nível de sinal/ruído são os mais usuais e os mais utilizados para a caracterização do estado duma ligação. No sistema operativo *Windows*, por exemplo, é frequente o recurso a esses dados por parte dos utilizadores através de ferramentas de controlo já disponíveis *à priori*, tendo em vista a detecção de valores ou variações anómalas desses parâmetros que indiciem problemas na ligação à rede.

Utilizando o sistema operativo linux, para além da qualidade geral da ligação e do nível de sinal e de ruído, é ainda possível obter dados relacionados com a quantidade de informação transmitida/recebida (em termos de pacotes ou *bytes*) e com o número de pacotes descartados. A forma como a informação associada a esta última métrica é apresentada, permite identificar as

causas que levaram à não consideração de cada um desses pacotes. As principais situações contempladas são:

- *Essid* incorrecto;
- Problemas com a descodificação;
- Falha na reassemblagem de fragmentos;
- Número de retransmissões do mesmo pacote excedido.

Este tipo de dados, para além de, na maioria dos casos serem facilmente acessíveis e intuitivos, permitem complementar a informação obtida através da análise mais cuidada e morosa dos pacotes capturados no terminal utilizando ferramentas de monitorização e captura específicas (a qual nem sempre é possível de efectuar).