ANACOM AUTORIDADE NACIONAL DE COMUNICAÇÕES

Sistemas de Comunicações Móveis

GSM/UMTS/LTE

Aferição da Qualidade de Serviço

Metodologia

para

Avaliação do desempenho de Serviços Móveis
e de Cobertura GSM, UMTS e LTE

5 de junho de 2017

ANACOM

Índice

Siglas e Acrónimos **5**

1 Introdução **7**

2 Objetivos **9**

3 Âmbito **9**

3.1 Serviços Móveis 9

3.2 Cobertura Rádio 10

4 Enquadramento **11**

4.1 Qualidade de Serviço na Perspetiva do Utilizador 11

4.2 Opções Metodológicas 14

5 Perfis de Medida **21**

5.1 Aspetos Gerais 21

5.2 Cobertura Rádio 22

5.3 Serviço de Voz 23

5.4 SMS – Serviço de Mensagens Curtas 24

5.5 Serviços de Dados 25

5.5.1 Sequência de Testes 25

5.5.2 Transferência de Ficheiros (*HTTP*) 27

5.5.3 Navegação na Internet (*HTTP web browsing*) 27

5.5.4 *YouTube Video Streaming* 28

5.5.5 Latência de Transmissão de Dados 28

6 Indicadores de Qualidade de Serviço **30**

6.1 Cobertura Rádio 30

6.1.1 Disponibilidade da Rede Rádio 30

6.2 Serviço de Voz 31

6.2.1 Acessibilidade do Serviço de Voz 31

6.2.2 Tempo de Estabelecimento de Chamadas de Voz 31

6.2.3 Rácio de Terminação de Chamadas de Voz 31

6.2.4 Qualidade Áudio de Chamada de Voz 32

6.3 SMS – Serviço de Mensagens Curtas 33

6.3.1 Acessibilidade do Serviço SMS 33

6.3.2 Tempo de Entrega de Mensagem SMS 33

6.3.3 Rácio de Entrega de Mensagem SMS 34

6.4 Serviços de Dados 34

6.4.1 Rácio de Terminação de Sessões de Dados (*HTTP, HTTP web browsing e YouTube Video Streaming*) 34

6.4.2 Velocidade de Transferência de Dados (*HTTP*) 34

6.4.3 Duração de Transferência de Página *web* (*HTTP web browsing*) 35

6.4.4 Tempo até Início de Visualização de Conteúdos (*YouTube Video Streaming*) 35

6.4.5 Duração das Interrupções (*YouTube Video Streaming*) 36

6.4.6 Qualidade Vídeo (*YouTube Video Streaming*) 36

6.4.7 Resolução de Reprodução de Vídeo (*YouTube Video Streaming*) 37

6.4.8 Latência de Transmissão de Dados 37

Referências / Bibliografia **39**

SIGLAS E ACRÓNIMOS

APN	*Access Point Name* – Nome do Ponto de Acesso.
CEPT	*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations* – Conferência Europeia das Administrações de Correios e Telecomunicações
CoDec	Codificador/Descodificador.
CPICH RSCP	*Common Pilot Channel, Received Signal Code Power* – Nível de sinal rádio recebido por um terminal móvel (UMTS).
CS	*Circuit Switched* – Comutação de Circuitos.
CSFB	*Circuit Switched Fallback* – Retroceder ao modo de Comutação de Circuitos.
ECC	*Electronic Communications Committee* – Comité de Comunicações Eletrónicas
EPS	*Evolved Packet System* – Sistema otimizado de comutação de pacotes das redes 4G, resultante da evolução dos sistemas 3G/UMTS, caraterizado por débitos de dados elevados, baixa latência e por permitir múltiplas tecnologias na rede rádio de acesso.
ETSI	*European Telecommunications Standards Institute* – Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações.
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.
FTP	*File Transfer Protocol* – Protocolo FTP.
GigaPIX	Ponto português de troca de tráfego entre redes IP.
GSM	*Global System for Mobile communications* – Sistema de Comunicações Móveis de segunda geração (2G).
HTTP	*Hyper Text Transfer Protocol* – Protocolo HTTP.
ITU	*International Telecommunications Union* – União Internacional de Telecomunicações.
LTE	*Long Term Evolution* – Sistema de Comunicações Móveis de quarta geração (4G).
MIMO	*Multiple Input Multiple Output* – Tecnologia que recorre à utilização de múltiplos emissores e múltiplos recetores (antenas) para melhorar o desempenho de comunicações rádio.
MMS	*Multimedia Messaging Service* – Serviço de Mensagens Multimédia.
MMSC	*Multimedia Messaging Service Centre* – Centro de Mensagens Multimédia.
MOS	*Mean Opinion Score* – Índice de qualidade que quantifica o esforço necessário para se perceber uma comunicação do tipo extremo-a-extremo. Apresenta como limites os valores 0 (zero), quando não há comunicação, e 5 (cinco), quando a comunicação é perfeita.
PDP	*Packet Data Protocol* – Protocolo PDP.
POLQA	*Perceptual Objective Listening Quality Assessment* – Algoritmo utilizado na análise da qualidade áudio de uma comunicação de voz (Recomendado pela ITU: *ITU-T Recommendation P.863 (01/2011)*).
PS	*Packet Switched* – Comutação de pacotes.
RDIS	*Rede Digital com Integração de Serviços* – Tecnologia utilizada na rede fixa de acesso.
RF	Rádio Frequência.
RSRP	*Reference Signal Received Power* – Nível de sinal rádio recebido por um terminal móvel (LTE).
RxLev	*Received signal level* – Nível de sinal rádio recebido por um terminal móvel (GSM).
Scanner RF	Equipamento de medida que permite recolher níveis de sinal rádio para cada canal de uma banda de frequência.
SIM	*Subscriber Identity Module* – Cartão SIM.
SMS	*Short Message Service* – Serviço de Mensagens Curtas.
SMSC	*Short Message Service Centre* – Centro de Mensagens Curtas.
SQuad-LQ	*SwissQual's speech quality algorithm for Listening Quality* – Algoritmo desenvolvido pela *SwissQual* para análise da qualidade áudio de uma comunicação.
TCP/IP	*Transmission Control Protocol / Internet Protocol* – Protocolo TCP/IP.
UMTS	*Universal Mobile Telecommunications System* – Sistema de Comunicações Móveis de terceira geração (3G).
USIM	*UMTS Subscriver Identity Module* – Cartão USIM.
VQuad	*Objective Model for Video Quality Assessment* – Algoritmo utilizado na análise da qualidade vídeo de uma comunicação (desenvolvido pela *SwissQual*).
WCDMA	*Wideband Code Division Multiple Access* – Tecnologia utilizada na componente rádio dos sistemas de comunicações UMTS.

1 INTRODUÇÃO

A generalidade dos consumidores individuais e das empresas recorrem aos serviços de comunicações eletrónicas, suportados nos sistemas de comunicações móveis GSM/UMTS/LTE, para satisfazer as suas necessidades quotidianas de comunicação, nomeadamente nas vertentes de telefonia, mensagens e dados, incluindo as comunicações de emergência e de segurança, pelo que estes sistemas assumem um papel muito relevante no contexto das comunicações eletrónicas nacionais.

Nos sistemas de comunicações móveis GSM, UMTS e LTE, a qualidade de serviço na perspetiva do utilizador assume uma importância fundamental, em particular pela natureza rádio do acesso, pela mobilidade que possibilitam e pela taxa de utilização que apresentam.

Por outro lado, na União Europeia, as autoridades reguladoras nacionais devem também controlar e assegurar o acesso à Internet aberta e promover a disponibilidade contínua de serviços de acesso à Internet não discriminatórios e com níveis de qualidade que reflitam o progresso tecnológico.

A ANACOM, no âmbito das suas atribuições e fazendo uso dos poderes previstos nos seus estatutos, pode promover a realização de estudos independentes de avaliação da qualidade de serviço na perspetiva do utilizador, de forma a dotar o mercado, em especial os consumidores menos protegidos – os individuais e as micro e pequenas empresas –, de informação isenta sobre o desempenho dos serviços de comunicações eletrónicas suportados nos sistemas de comunicações móveis presentes no mercado.

A monitorização do desempenho das redes e dos serviços móveis, realizada com equipamentos terminais comerciais e na perspetiva de utilizador comum, é um processo abrangente, extremamente rigoroso e fiável que permite obter informação sobre a cobertura geográfica e qualidade dos serviços disponibilizados pelos operadores GSM/UMTS/LTE. A vertente intrusiva deste método assume-se como o melhor compromisso entre a viabilidade da sua implementação técnica, a garantia de privacidade dos utilizadores e o rigor e a fiabilidade da informação obtida. Assim, a realização de testes de campo, com recurso a equipas de técnicos e sistemas automáticos de teste, em particular as abordagens em movimento – *drive-tests* e *walk-tests* –, permite a objetividade das medições e a definição precisa das áreas geográficas analisadas. Permite ainda que a análise dos serviços seja feita de forma independente do funcionamento das próprias redes de telecomunicações. Por exemplo, áreas com cobertura rádio deficiente ou mesmo ausente podem ser também consideradas na análise, possibilitando que os

resultados do estudo se traduzam num bom indicador do comportamento global das redes na perspetiva de utilizador. Este é também o melhor método para efetuar análises comparativas do desempenho de vários operadores (*benchmarking*), dado que permite garantir que os testes são efetuados em condições homogéneas e simultâneas para todos.

Neste documento define-se um conjunto de indicadores para avaliação do desempenho dos serviços mais relevantes, no contexto atual das redes móveis, e para verificação da cobertura de cada tecnologia rádio utilizada pelos operadores. Apresentam-se também perfis de medida definindo um conjunto de compromissos e condições a acautelar para a correta aferição da qualidade dos serviços e garantia da fiabilidade dos testes. Estes perfis contemplam ainda a normalização de processos e a definição de parâmetros de teste e medida, de modo a permitirem a exequibilidade das análises e a comparabilidade dos resultados obtidos.

2 OBJETIVOS

Com este documento pretende-se definir uma metodologia que permita:

A. Analisar, numa perspetiva de utilizador, o desempenho dos serviços de comunicações eletrónicas, que se suportam nos sistemas de comunicações móveis GSM/UMTS/LTE portugueses, através da realização de testes automáticos extremo-a-extremo;

B. Verificar a cobertura GSM, UMTS e LTE dos sistemas de comunicações móveis portugueses.

3 ÂMBITO

3.1 SERVIÇOS MÓVEIS

Na avaliação da qualidade de serviço, na perspetiva do utilizador, devem ser considerados os serviços que, em cada tecnologia, apresentem grande relevância para os utilizadores finais e que sejam disponibilizados por todos os operadores presentes no mercado.

Tendo presente este princípio orientador, e considerando a realidade atual [ANACOM], devem ser objeto de análise os seguintes serviços:

1. Serviços de Telefonia:
   a. **Serviço de Voz**;
2. Serviços de Mensagens:
   b. **SMS – Serviço de Mensagens Curtas**;
3. Serviços de Dados:
   c. **Serviço de Transferência de Ficheiros** (*HTTP upload/download*);
   d. **Serviço de Navegação na Internet** (*HTTP web browsing*);
   e. **Serviço *YouTube Video Streaming***.

3.2 COBERTURA RÁDIO

O principal aspeto diferenciador dos serviços disponibilizados por sistemas de comunicações móveis é a mobilidade, sendo esta conseguida com recurso a redes de acesso sem fios com interfaces rádio.

Os sistemas de comunicações móveis diferenciam-se pelas suas interfaces rádio e pelos serviços que disponibilizam. O GSM – a primeira geração destes sistemas – foi inicialmente desenhado para a prestação de serviços de telefonia e de mensagens. Posteriormente este sistema evoluiu para permitir a prestação de serviços de dados (GPRS, EDGE). Os sistemas de terceira e quarta geração – UMTS e LTE – foram pensados para disponibilização de serviços de transmissão de dados de elevado desempenho, tais como serviços de acesso à Internet e serviços multimédia. Do ponto de vista do utilizador, a diferença entre UMTS e LTE é o débito de transmissão máximo proporcionado, que é muito mais elevado em LTE.

Assim, numa avaliação de desempenho de sistemas de comunicações móveis é essencial a verificação da disponibilidade de todas as interfaces rádio utilizadas nas redes de acesso. Atualmente são fundamentais as seguintes análises:

a. **Disponibilidade da Rede Rádio GSM**;

b. **Disponibilidade da Rede Rádio UMTS**;

c. **Disponibilidade da Rede Rádio LTE**.

4 ENQUADRAMENTO

4.1 QUALIDADE DE SERVIÇO NA PERSPETIVA DO UTILIZADOR

A ITU (*International Telecommunications Union*) define Qualidade de Serviço (*Quality of Service*) como o efeito global do desempenho do serviço que determina o grau de satisfação do utilizador do serviço; e define Desempenho de Rede (*Network Performance*) como a capacidade de uma rede ou parte dela fornecer as funcionalidades relacionadas com a comunicação entre utilizadores [ITU-T E.800].

A qualidade de serviço caracteriza-se por uma combinação do desempenho de diferentes fatores, tais como, serviços de suporte, facilidade de utilização do serviço, acessibilidade do serviço, retenção/manutenção do serviço, integridade do serviço, segurança do serviço e outros fatores específicos de cada serviço.

No contexto deste documento, são usados os seguintes conceitos:

- ***Desempenho da Rede*** – capacidade de uma rede ou parte dela para fornecer um serviço com um determinado grau de qualidade. Engloba as funcionalidades, mecanismos e procedimentos, implementados pela rede celular e pelo equipamento terminal, que asseguram o fornecimento da qualidade de serviço negociada entre o equipamento terminal e o *core* da rede.

- ***Qualidade de Serviço na Perspetiva do Utilizador*** – corresponde à perceção de qualidade sentida por um utilizador quando utiliza o serviço. Indica o grau de satisfação do utilizador em termos de, por exemplo, acessibilidade, integridade e manutenibilidade do serviço.

A *Qualidade de Serviço na Perspetiva do Utilizador* é normalmente expressa em termos de sensações humanas, do tipo, “Excelente”, “Boa”, “Aceitável”, “Pobre” e “Má”, enquanto o *Desempenho da Rede* é um conceito puramente técnico medido, expresso e entendido numa ótica de rede ou dos seus elementos, apresentando pouco significado para o utilizador. No entanto, estes aspetos são indissociáveis: normalmente um melhor desempenho da rede traduz-se em melhor qualidade percebida pelo utilizador. Contudo, bons parâmetros de desempenho não garantem a satisfação do utilizador. Por exemplo, ótima qualidade áudio do serviço de voz num determinado local não serve de muito ao utilizador se imediatamente ao lado a rede não apresentar cobertura rádio. Neste sentido, o que é realmente importante é garantir a satisfação dos utilizadores, pelo que o objetivo do desempenho de uma infraestrutura celular deve ser a disponibilização de elevada *Qualidade de Serviço na Perspetiva do*

Utilizador (*Figura 1*).

Este documento debruça-se sobre a *Qualidade de Serviço na Perspetiva do Utilizador*, abordando apenas os aspetos técnicos que contribuem para a satisfação dos utilizadores.

Figura 1 – Relação entre Satisfação do Utilizador, Qualidade de Serviço e Desempenho da Rede [ETSI TS 102 250-1].

Numa perspetiva de utilizador, a utilização de serviços suportados em sistemas de comunicações móveis pode ser separada em fases consecutivas. Na figura seguinte são ilustradas as diferentes fases de acesso à rede, de acesso ao serviço e de utilização do serviço e os respetivos aspetos da qualidade de serviço.

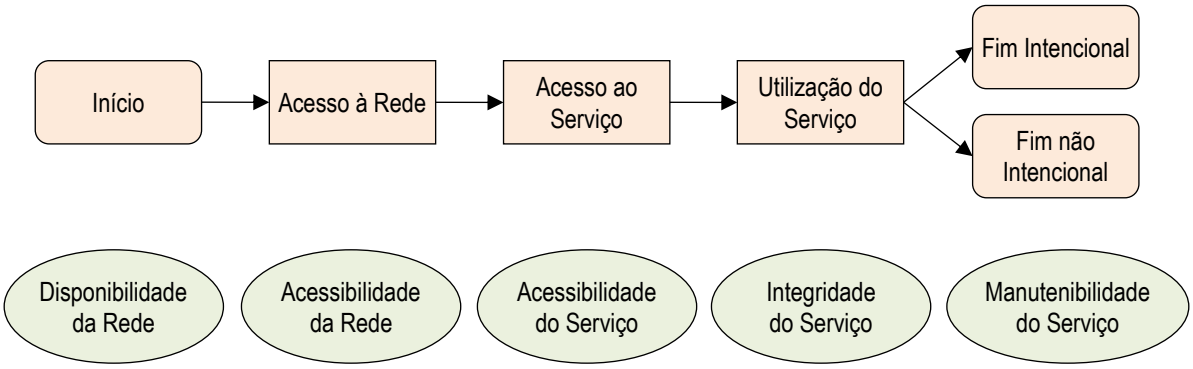

Figura 2 – Fases de utilização de um serviço e os respetivos aspetos da qualidade de serviço [ETSI TS 102 250-1].

Os aspetos da qualidade de serviço, relativos às várias fases de utilização dos serviços, apresentam o seguinte significado [ETSI TS 102 250-1]:

a. **Disponibilidade da Rede** – Probabilidade de os serviços estarem disponíveis através de uma infraestrutura de rede móvel.

b. **Acessibilidade da Rede** – Probabilidade de o utilizador (o seu equipamento terminal) se registar com sucesso na rede móvel que disponibiliza o serviço pretendido. A rede móvel só pode ser acedida se estiver disponível para o utilizador.

c. **Acessibilidade do Serviço** – Probabilidade de o utilizador aceder ao serviço pretendido, desde que a rede móvel esteja acessível.

d. **Integridade do Serviço** – Caracteriza o desempenho do serviço durante a sua utilização, após garantida a acessibilidade a esse mesmo serviço, através de elementos dos conteúdos transmitidos (*v.g.* qualidade auditiva, qualidade visual, número de *bit* errados num ficheiro transferido, etc.).

e. **Manutenibilidade do Serviço** – Caracteriza a forma como termina a utilização do serviço (de acordo ou contra a vontade do utilizador), após garantida a acessibilidade a esse mesmo serviço.

Os indicadores/parâmetros de qualidade de serviço devem permitir obter informação relevante sobre cada uma das fases/aspetos acima identificadas, de forma a possibilitarem, entre outros:

a. A comparação entre os níveis de desempenho disponibilizados por diferentes operadores;

b. O estudo da evolução do desempenho ao longo do tempo;

c. A identificação das causas de problemas e avaliação do impacto das soluções implementadas.

No entanto, deve haver muito cuidado na utilização dos parâmetros de qualidade de serviço devido ao efeito da cobertura rádio, que pode deturpar os valores absolutos destes parâmetros e inviabilizar a comparação de desempenho de redes. Alguns fatores devem ser tomados em consideração:

- As redes podem não ter sido desenhadas com as mesmas prioridades de cobertura. Os operadores podem focalizar a cobertura rádio das suas redes em determinadas áreas geográficas (*v.g.* zonas urbanas, zonas rurais, litoral, interior, etc.) ou em tipos específicos de utilizadores (*v.g.* residenciais, empresariais, etc.), em especial nos primeiros anos de operação;

- O nível médio absoluto de desempenho das redes móveis pode ter pouco interesse para os utilizadores que podem estar apenas interessados no desempenho das redes numa área geográfica específica, podendo ocorrer situações em que uma rede apresente melhor cobertura numa determinada área enquanto outra rede apresente melhor cobertura noutra área;
- A capacidade e cobertura de uma rede móvel mudam frequentemente, em especial nos primeiros anos de operação, pelo que o desempenho é melhorado à medida que os operadores vão desenvolvendo as suas redes. Assim, análises de qualidade de serviço efetuadas num local e momento específicos podem não ser indicativas do desempenho médio das redes durante um período alargado de tempo;
- Os indicadores de desempenho das redes obtidos através de *drive-tests* aplicam-se apenas aos momentos e locais visados, exceto situações em que a amostra escolhida seja representativa da utilização de serviços móveis.

4.2 OPÇÕES METODOLÓGICAS

Os sistemas de comunicações móveis diferenciam-se pelas suas interfaces rádio e pelos serviços que disponibilizam. O GSM – a primeira geração destes sistemas – foi inicialmente desenhado para a prestação de serviços de telefonia e de mensagens. Posteriormente este sistema evoluiu para permitir a prestação de serviços de dados (GPRS, EDGE). Os sistemas de terceira e quarta geração – UMTS e LTE – foram pensados para disponibilização de serviços de transmissão de dados de elevado desempenho, tais como serviços de acesso à Internet e serviços multimédia. Do ponto de vista do utilizador, a diferença entre UMTS e LTE é o débito de transmissão máximo proporcionado, que é muito mais elevado em LTE.

O principal aspeto diferenciador dos serviços disponibilizados por sistemas de comunicações móveis é a mobilidade, sendo esta conseguida com recurso a redes de acesso sem fios com interfaces rádio. Assim, numa avaliação de desempenho de sistemas de comunicações móveis é essencial a verificação da disponibilidade de todas as interfaces rádio utilizadas nas redes de acesso (GSM, UMTS e LTE).

Em qualquer estudo é impossível reproduzir exatamente a realidade que se pretende estudar, o que é ainda mais evidente quando essa realidade envolve sistemas complexos com interação humana.

Numa avaliação do desempenho das redes e serviços móveis, face à taxa de penetração dos serviços

móveis, à diversidade de equipamentos terminais utilizados e dos serviços prestados e à própria subjetividade inerente a cada utente, é impossível a reprodução rigorosa das condições de interação de cada consumidor com as redes. Por isso, a concretização de uma análise da qualidade só é possível à custa de compromissos e aproximações, embora dentro de limites que permitam que os resultados obtidos possam ser encarados como indicadores fiáveis do comportamento global dos sistemas de comunicações móveis, nomeadamente no que toca à abrangência geográfica e níveis de sinal das redes rádio de acesso, bem como à acessibilidade, integridade e manutenibilidade dos serviços.

Nestas análises, o ideal seria que fossem efetuadas medições em todos os locais em que os serviços de comunicações eletrónicas estudados podem ser disponibilizados; no limite, deveria ser considerada toda a área geográfica em estudo, incluindo o interior dos edifícios e dos veículos de transporte de pessoas. Porém, esta abordagem é impraticável pelo que se opta por uma aproximação de compromisso que se traduz na realização de testes em locais públicos e em movimento (vulgarmente designados por *drive-test*). Esta aproximação tem sido utilizada, com muito bons resultados, por reguladores setoriais e pela generalidade dos operadores móveis em todo o mundo.

Ideal seria também que se utilizassem todos os tipos de equipamentos terminais existentes no mercado, nas diferentes versões de sistemas operativos e aplicações de *software* existentes. Deveriam ainda ser objeto de estudo todos os serviços disponibilizados pelos operadores, considerando os diferentes perfis de utilização. Como facilmente se compreende, a realização de testes considerando todas estas variáveis seria igualmente impraticável. Assim, são normalmente analisados os principais serviços, que sejam disponibilizados de forma homogénea por todos os operadores presentes no mercado, de forma que permita analisar todas as tecnologias de que os operadores dispõem, e utilizados equipamentos terminais comerciais com características e parametrizações iguais.

A utilização de terminais móveis comerciais, com características idênticas às dos equipamentos terminais utilizados pela generalidade dos consumidores e sem antenas externas adicionais, para realização de testes no interior de viaturas automóveis (*in car*), estáticas ou em movimento (*drive-tests*), permite condições de teste idênticas às da utilização comum nestes ambientes. A atenuação dos sinais rádio, introduzida pela estrutura da viatura automóvel, possibilita ainda que estas condições de teste sejam mais próximas das sentidas pelos utilizadores comuns de serviços móveis em ambientes interiores (*indoor*), quando comparadas com as que se obteriam realizando os testes em ambientes exteriores (*outdoor*) ou com os equipamentos terminais dentro de viaturas automóveis mas com antenas exteriores.

Por outro lado, a forma como são testados os serviços segue uma metodologia que reflete, com a melhor aproximação possível, a realidade de um utilizador comum, na medida em que, entre outros aspetos, são utilizados equipamentos terminais e aplicações de *software* comerciais; são simuladas conversações (para avaliação da qualidade áudio do serviço de voz); são transferidos ficheiros, descarregadas páginas *web* e descarregados vídeos do portal *YouTube* (para avaliação dos serviços de dados); e são verificados a presença e níveis de sinal das redes rádio em diversos locais. Este tipo de abordagem é vulgarmente designado por *medições extremo-a-extremo na perspetiva do utilizador*.

Atualmente o tráfego de voz e de SMS é esmagadoramente Móvel-Móvel e maioritariamente Intrarrede pelo que estas configurações devem ser consideradas na metodologia de teste. No entanto, para minimizar a incerteza, que acompanha sempre os processos de medida, nos testes ao serviço de voz um dos extremos das comunicações deve apresentar bons níveis e grande estabilidade de desempenho. O impacto deste extremo nos indicadores deve ser mínimo pelo que devem ser utilizados equipamentos terminais móveis (*UE – User Equipment*) estáticos em locais com adequada (boa) cobertura rádio, interferência mínima e elevada probabilidade de acesso ao serviço de voz. No serviço de mensagens SMS o envio e a receção de mensagens ocorre de forma diferida pelo que os testes a este serviço podem decorrer com os dois terminais em movimento.

Para realização de testes de transferência de ficheiros, de navegação na Internet (página *web* de referência) e de verificação da latência de transmissão devem ser utilizados servidores na Internet, alojados em local "neutro" em relação aos vários operadores em análise. Neste sentido, a melhor opção em Portugal passa por alojar os *Servidores de Teste* num *datacenter* na FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.), interligados com a Internet através de um ponto neutro de troca de tráfego, concretamente através do GigaPIX (*Ponto português de troca de tráfego entre redes IP*) [GigaPIX]. Os servidores devem funcionar nos mesmos moldes dos servidores disponíveis na Internet e devem estar dedicados exclusivamente à realização destes testes, não apresentando limitações de capacidade de processamento e armazenamento de informação, disponibilidade e largura de banda de acesso.

Estes testes com servidores dedicados, alojados em local "neutro" e "equidistante" aos vários operadores, permitem conhecer o desempenho intrínseco das infraestruturas de cada operador e o seu impacto no desempenho dos serviços prestados aos seus clientes.

Complementarmente devem também ser realizados testes com servidores públicos, que alojem os conteúdos mais procurados pelos internautas portugueses (páginas *web* e *YouTube video clips*), pois

permitem conhecer o impacto das infraestruturas de cada operador no acesso a estes conteúdos por parte dos seus clientes.

Face à realidade atual, as opções metodológicas que salvaguardam os compromissos adotados encontram-se descritas e justificadas na tabela seguinte.

Tabela 1 – Fundamentação das principais opções metodológicas

Decisão	Racional
Análise extremo-a-extremo, na perspetiva do utilizador, utilizando equipamentos terminais comerciais	▪ Esta metodologia de teste aos serviços e redes móveis reflete, com a melhor aproximação possível, a realidade de um utilizador comum, já que, entre outros aspetos, são utilizados equipamentos terminais e aplicações de *software* comerciais; são simuladas conversações (para avaliação da qualidade áudio do serviço de voz); são transferidos ficheiros, descarregadas páginas *web* e descarregados vídeos do portal *YouTube* (para avaliação dos serviços de dados); e são verificados a presença e níveis de sinal das redes rádio de acesso em diversos locais [ITU-T E.800, ETSI TS 102 250-x]; ▪ Este tipo de análise permite a obtenção de indicadores fiáveis do comportamento global dos sistemas de comunicações móveis, nomeadamente no que toca à abrangência geográfica e níveis de sinal das redes rádio de acesso, bem como à acessibilidade, integridade e manutenibilidade dos serviços.
Igualdade de condições para todos os operadores objeto de estudo	▪ Os serviços e redes móveis são analisados em simultâneo, nos mesmos locais, com os mesmos equipamentos e com as mesmas parametrizações para todos os operadores objeto de estudo; ▪ São implementados procedimentos de rotação de USIM pelos equipamentos terminais, proporcionando condições médias de teste iguais para todos os operadores, nomeadamente no que concerne ao posicionamento no interior da viatura de teste e às características intrínsecas dos próprios equipamentos; ▪ Possibilita a análise comparativa do desempenho dos operadores (*benchmarking*).
Sistemas automáticos de teste	▪ Objetividade das medições efetuadas já que se elimina a intervenção ou decisão humana; ▪ Possibilitam condições idênticas de teste para todos os operadores permitindo análises comparativas de desempenho (*benchmarking*); ▪ Muito boa repetibilidade e reprodutibilidade de todo o processo de medida conduzindo a resultados com elevada robustez e fiabilidade.
Testes em movimento no exterior (*drive-tests* / *outdoor*)	▪ No exterior é possível explorar completamente o principal aspeto diferenciador dos serviços disponibilizados por sistemas de comunicações móveis: a mobilidade; ▪ É possível analisar maiores áreas geográficas num menor espaço de tempo; ▪ Possibilidade de utilização de plataformas de teste mais robustas e fiáveis; ▪ Facilidade de implementação; ▪ Boa relação entre custos de implementação e resultados obtidos.

Decisão	Racional
Equipamentos terminais móveis de teste no interior de viaturas automóveis, sensivelmente a meio do habitáculo, e sem antenas externas adicionais	▪ Permite que as condições de teste sejam idênticas às da utilização comum dos serviços nestes ambientes (*in car*); ▪ A atenuação dos sinais rádio, introduzida pela estrutura da viatura automóvel, possibilita ainda que estas condições de teste sejam mais próximas das sentidas pelos utilizadores comuns de serviços móveis em ambientes interiores (*indoor*), quando comparadas com as que se obteriam realizando os testes em ambientes exteriores (*outdoor*) ou com os equipamentos terminais dentro de viaturas automóveis, mas com antenas exteriores [ETSI TR 102 581]; ▪ O recurso às próprias antenas dos equipamentos terminais móveis permite que a implementação de técnicas de transmissão rádio (*v.g.* MIMO), no decorrer dos testes, ocorra nos mesmos moldes da utilização comum das redes e, por isso, produza o mesmo impacto na transmissão rádio.
Smartphones comerciais com sistema operativo *Android*	▪ Os *Smartphones* são o tipo de terminal móvel atualmente mais utilizado em Portugal pelos consumidores (69% dos terminais, e com tendência de crescimento) [ANACOM, Marktest_BTC, GfK_TEMAX]; ▪ O sistema operativo *Android* é atualmente o que apresenta maior fatia de mercado nos *Smartphones* (cerca de 88%) [IDC, Strategy_Analytics].
Smartphones configurados para seleção automática das interfaces rádio GSM, UMTS e LTE	▪ Tendo em conta a elevada taxa de penetração dos *Smartphones* [ANACOM, Marktest_BTC, GfK_TEMAX] – que na sua maioria estão aptos a usar e a selecionar automaticamente estas tecnologias – e também as ofertas comerciais dos operadores portugueses [MEO, NOS, Vodafone] – que não distinguem tecnologias rádio de acesso –, é a opção que mais se aproxima da realidade sentida pela generalidade dos utilizadores de redes móveis.
Testes de voz e SMS em configuração Móvel-Móvel Intrarrede	▪ O tráfego de voz Móvel-Móvel é superior a 90% de todo o tráfego de voz originado nas redes móveis [ANACOM]; ▪ O tráfego de voz *Intrarrede* representa 56,2% de todo o tráfego de voz originado nas redes móveis [ANACOM]; ▪ O tráfego SMS é esmagadoramente Móvel-Móvel (99,7%) e maioritariamente Intrarrede (68,1%) [ANACOM]; ▪ Permite tirar partido de todas as funcionalidades e possibilidades implementadas pelas redes móveis (*v.g. HD Voice*, VoLTE, etc.).
Um dos extremos das comunicações permanece estático durante os testes ao serviço de voz	▪ Para minimizar a incerteza, que acompanha sempre os processos de medida, um dos extremos das comunicações de teste deve apresentar bons níveis e grande estabilidade de desempenho. O impacto deste extremo nos indicadores deve ser mínimo pelo que devem ser utilizados equipamentos terminais móveis (*UE*) estáticos em locais com adequada (boa) cobertura rádio, interferência mínima e elevada probabilidade de acesso ao serviço de voz.
Duração das chamadas de teste (voz): 150 segundos	▪ Duração aproximada das chamadas de voz originadas nas redes móveis portuguesas [ANACOM].
Inicialização alternada das chamadas de teste (voz)	▪ Permite avaliar as capacidades de inicialização e de terminação de chamadas em movimento pelos sistemas de comunicações móveis, nos locais objeto de estudo.
Os dois extremos das comunicações em movimento no mesmo local (SMS)	▪ Permite avaliar as capacidades de envio e receção de mensagens SMS em movimento – fator com impacto relevante neste serviço – e minimizar os custos de teste (já que com apenas dois terminais móveis por operador é possível a realização dos testes); ▪ Não é crítico, do ponto de vista da rede móvel, já que o serviço funciona de forma diferida pelo que o envio e receção das SMS de teste no mesmo local não é fator de congestão da rede (quando comparado com uma situação em que apenas seriam originadas ou terminadas SMS num dado local) e é possível distinguir, de forma inequívoca, o impacto do originador e do recetor da mensagem no desempenho do serviço.

Decisão	Racional
Portal *YouTube* (*YouTube video streaming*)	▪ Os serviços de vídeo (nomeadamente o *video streaming*) são atualmente responsáveis por mais de 50% do tráfego de dados cursado nas redes móveis [Ericsson_MR, Cisco_VNI]; ▪ O portal *YouTube* é atualmente responsável por 40% a 70% de todo o tráfego de vídeo cursado através das redes móveis [Ericsson_MR, Cisco_VNI].
Conteúdos de teste em Servidores Dedicados e em Servidores Públicos (serviços de dados)	▪ Os testes com servidores dedicados, alojados em local "neutro" e "equidistante" aos vários operadores, permitem conhecer o desempenho intrínseco das infraestruturas de cada operador e o seu impacto no desempenho dos serviços prestados aos seus clientes. Permitem a utilização de conteúdos estáveis de referência, tais como ficheiros binários e a página *web Kepler* desenvolvida pelo ETSI [ETSI TR 102 505]; ▪ Os testes com servidores públicos, que alojam os conteúdos mais procurados pelos internautas portugueses (páginas *web* e *YouTube video clips*), permitem conhecer o impacto das infraestruturas de cada operador no acesso a estes conteúdos por parte dos seus clientes.
Servidores Dedicados no GigaPIX	▪ Os Servidores Dedicados devem ser alojados em local "neutro" e "equidistante" aos vários operadores em análise; ▪ A melhor opção em Portugal passa por alojar os Servidores de Teste num *datacenter* na FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.), interligando-os à Internet através de um ponto neutro de troca de tráfego, concretamente através do GigaPIX (Ponto português de troca de tráfego entre redes IP) [GigaPIX]; ▪ Estes servidores funcionam nos mesmos moldes dos servidores disponíveis na Internet e estão dedicados exclusivamente à realização destes testes, não apresentando limitações de capacidade de processamento e armazenamento de informação, disponibilidade e largura de banda de acesso.
Protocolo HTTP nos testes aos serviços de dados	▪ Este protocolo suporta a maioria do tráfego de dados, recebidos ou enviados pelos utilizadores das redes móveis, quando acedem à Internet, nomeadamente quando descarregam uma página *web*, transferem ficheiros ou quando descarregam conteúdos multimédia do portal *YouTube*. É de realçar que o tráfego de vídeo representa mais de metade do tráfego de dados cursado nas redes móveis e o portal *YouTube* é responsável por 40% a 70% desse tráfego de vídeo [Ericsson_MR, Cisco_VNI].
Transferência de ficheiros (HTTP *upload/download*) realizada de acordo com o conceito de tempo fixo de transferência de dados em vez da transferência integral de ficheiros de dimensão fixa	▪ Possibilita a realização de uma quantidade determinada de medições por unidade de tempo, permitindo reduzir o tempo e o esforço necessários para monitorizar o desempenho de uma rede móvel; ▪ Adequado quando se espera uma grande variância das grandezas a medir (*v.g.* velocidades de *download* e *upload*) [ETSI TR 102 678]; ▪ Método especialmente recomendado para realização de análises de desempenho comparativo, entre vários operadores, através de *drive-tests*, pois possibilita uma comparação correta e justa [ETSI TR 102 678].
Interfaces rádio GSM, UMTS e LTE	▪ Tecnologias rádio utilizadas nas redes de acesso dos sistemas de comunicações móveis dos operadores portugueses; ▪ Determinar os níveis de cobertura de cada interface rádio e, assim, conhecer os locais com maior probabilidade de sucesso na utilização dos serviços.

Todas estas opções, bem como a definição de perfis de medida e indicadores de qualidade de serviço na perspetiva de utilizador, têm por base especificações técnicas definidas por organizações internacionais de referência, como a ITU, o ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e

a CEPT-ECC (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – Electronic Communications Committee*), nomeadamente as seguintes: ETSI TS 102 250, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI EG 202 057, ETSI ES 202 057, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133, ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910, ITU-T E.800, ITU-T Q.3960, ECC Report 256 e ECC Report 103 [ETSI TS 102 250-x, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI EG 202 057-x, ETSI ES 202 057-1, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133, ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910, ITU-T E.800, ITU-T Q.3960, ECC Report 256 e ECC Report 103].

Assim, a metodologia proposta assenta na realização de testes de campo, efetuados na perspetiva do utilizador, com recurso a um sistema automático de medida, refletindo os vários aspetos que afetam a qualidade dos serviços (medições extremo-a-extremo). As medições são efetuadas de forma objetiva (sem intervenção ou decisão humana) e em igualdade de condições para os vários operadores, nomeadamente em simultâneo, nos mesmos locais, com os mesmos equipamentos e com as mesmas parametrizações, permitindo a análise comparativa dos desempenhos dos sistemas celulares dos operadores visados.

5 PERFIS DE MEDIDA

Os perfis de medida definem um conjunto de condições que devem ser acauteladas para a correta aferição da qualidade dos serviços e garantia da fiabilidade dos testes. Contemplam ainda a normalização de processos e a definição de parâmetros de teste e medida, de modo a permitirem a exequibilidade das análises e a comparabilidade dos resultados obtidos[1].

5.1 ASPETOS GERAIS

A avaliação do desempenho das redes e serviços móveis é realizada de forma objetiva com recurso a uma plataforma automática de teste, garantindo-se que durante a execução de um teste não há qualquer intervenção ou decisão humana, que incorpora terminais móveis comerciais (*smartphones* com sistema operativo *Android*) iguais para todos os operadores objeto de estudo.

As medições são realizadas em locais exteriores públicos e em movimento (*drive-test*), utilizando viaturas automóveis. Todos os parâmetros recolhidos são georreferenciados.

Durante a realização de testes, os terminais móveis permanecem no interior das viaturas automóveis, sensivelmente a meio do habitáculo, utilizam as próprias antenas e selecionam automaticamente a infraestrutura rádio de suporte à utilização dos serviços (GSM, UMTS ou LTE). Adicionalmente é implementado um procedimento de rotação de USIM pelos equipamentos terminais, proporcionando condições médias de teste iguais para todos os operadores, nomeadamente no que concerne ao posicionamento no interior da viatura de teste e às características intrínsecas dos próprios equipamentos.

Os serviços móveis são analisados extremo-a-extremo e em igualdade de condições para os vários operadores, nomeadamente em simultâneo, nos mesmos locais, com os mesmos equipamentos e com as mesmas parametrizações.

Os testes aos serviços de *voz*, de *SMS* e de *dados* decorrerão em paralelo, mas serão utilizados equipamentos terminais móveis independentes para cada teste e operador. No entanto, num

[1] Estes perfis e parâmetros de medida têm por base as especificações técnicas ETSI TS 102 250, nomeadamente a parte 5, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI EG 202 057, nomeadamente as partes 3 e 4, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133; as recomendações ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910 e ITU-T Q.3960; e os relatórios ECC Report 256 e ECC Report 103 [ETSI TS 102 250-5, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI EG 202 057-3, ETSI EG 202 057-4, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133, ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910, ITU-T Q.3960, ECC Report 256, ECC Report 103].

determinado local, nunca serão analisados mais do que dois destes serviços em simultâneo.

A verificação dos níveis de cobertura rádio será efetuada, de forma passiva, em paralelo com os testes aos serviços utilizando equipamentos específicos (*scanner RF*).

5.2 COBERTURA RÁDIO

A avaliação da cobertura rádio das redes efetua-se por medição dos níveis de sinal em *downlink*, RxLev (*Received signal Level*) para GSM, CPICH RSCP (*Common Pilot Channel Received Signal Code Power*) para UMTS e RSRP (*Reference Signal Received Power*) para LTE, ao longo de cada trajeto em estudo.

As medições são efetuadas com um equipamento adequado e dedicado exclusivamente a esta tarefa – *Scanner RF* – para que os valores medidos correspondam aos níveis efetivos de sinal. Em coerência com a avaliação do desempenho dos serviços móveis, as antenas deste equipamento são colocadas no interior da viatura automóvel de teste, sensivelmente a meio do habitáculo, pelo que as medições são afetadas pela atenuação introduzida pela estrutura da viatura automóvel. Este equipamento de medida recolhe amostras de sinal de todos os canais rádio GSM, UMTS e LTE utilizados pelos operadores em análise. Posteriormente, essas amostras são analisadas e apenas consideradas aquelas que apresentem os melhores valores de nível de sinal, em cada ponto e para cada tecnologia e operador.

Cada ponto de medida é georreferenciado para a posterior representação dos níveis de sinal em cartografia digital, facilitando assim a visualização da cobertura das redes móveis nos trajetos objeto de estudo e a identificação de locais com cobertura deficiente ou inexistente.

Esta abordagem para verificação da cobertura rádio, em particular para a cobertura UMTS e LTE, não tem em consideração a carga das redes no que toca a número de utilizadores em simultâneo e tipo de serviços utilizados. Uma indicação de boa cobertura, num dado local e num determinado momento, deve ser entendida como a presença da rede rádio em níveis que possibilitam o acesso e a utilização da generalidade dos serviços, ainda que os níveis de qualidade da prestação desses serviços possam ser díspares entre os utilizadores. Por exemplo, é expectável que os ritmos máximos de transmissão de dados de cada conexão (utilizador) diminuam com o aumento de conexões (utilizadores) em simultâneo numa célula rádio ou à medida que os utilizadores se aproximam da periferia dessa mesma célula.

5.3 SERVIÇO DE VOZ

A análise do serviço de voz, num determinado local, inclui as capacidades de estabelecimento e terminação de chamadas, bem como a integridade da comunicação. Este serviço é avaliado extremo-a-extremo, em configuração *Móvel-Móvel Intrarrede*, utilizando-se a "chamada" como unidade base de teste.

As chamadas de teste são estabelecidas entre equipamentos terminais móveis (*UE*). Um dos *UE* desloca-se no trajeto/local em estudo e o outro *UE* é mantido estático num local com adequada (boa) cobertura rádio, interferência mínima e elevada probabilidade de acesso ao serviço[2].

Para possibilitar a inicialização alternada de chamadas de teste, de forma automática entre os dois terminais envolvidos, nas sessões de teste é utilizada uma janela temporal fixa para realização de cada chamada. Em caso de falha de chamada, tanto na fase de estabelecimento como na fase de conversação, a chamada seguinte só terá início na janela temporal seguinte.

A janela temporal contempla, além da própria duração de chamada, períodos que permitem o estabelecimento e desligamento da chamada e também uma pausa não inferior a 30 segundos entre chamadas consecutivas, para prevenir eventuais problemas de rede relacionados com sinalização ou gestão da mobilidade.

Após o início de uma chamada de teste, é simulada uma conversação durante 150 segundos para análise da integridade da comunicação. A qualidade auditiva é verificada alternadamente em cada sentido, independentemente do extremo em que se iniciou a chamada, utilizando-se o algoritmo POLQA [ITU-T P.863, ITU-T P.863.1].

Os parâmetros de teste utilizados para análise do serviço de voz apresentam os seguintes valores:

- Relação de inicialização de chamadas entre *UE*: 1/1
- Duração das chamadas de teste: 150 s
- Janela temporal para realização de uma chamada de teste: 200 s

[2] O "*UE* estático" será colocado nas instalações da ANACOM em Barcarena.

- Tempo máximo para estabelecimento de uma chamada: 20 s

5.4 SMS – SERVIÇO DE MENSAGENS CURTAS

O serviço SMS é avaliado extremo-a-extremo, utilizando-se a transmissão de uma mensagem como unidade base de teste.

Os testes são realizados em configuração *Móvel-Móvel Intrarrede* sendo as mensagens originadas e terminadas em equipamentos separados, ou seja, para a realização de cada teste são utilizados dois equipamentos terminais: um originador e um recetor. Tanto o equipamento terminal originador como o recetor encontram-se em movimento no mesmo local.

Outro aspeto importante para garantir a fiabilidade dos testes consiste em evitar que o terminal móvel seja perturbado pela mensagem seguinte enquanto recebe a anterior. Para isso, utiliza-se uma pausa adequada entre envios consecutivos de mensagens.

Por razões de exequibilidade, é definida uma janela de tempo para entrega das mensagens. As mensagens entregues após esta janela temporal são consideradas como falhadas. Também as mensagens que apresentem erros (pelo menos um *bit*) são consideradas falhadas. As multirreceções de mensagens não são contabilizadas para efeitos de rácio de entrega.

Cada mensagem de teste tem associado um identificador único para facilitar a sua identificação na receção e evitar ambiguidade na correlação entre mensagens enviadas e recebidas. As mensagens recebidas que não sejam válidas (que não tenham sido enviadas pelo terminal originador ou que não façam parte da sessão de teste) são descartadas.

Os equipamentos terminais móveis utilizados não apresentam quaisquer limitações de capacidade de processamento ou de armazenamento de informação que possam afetar o envio ou a receção de mensagens.

A mensagem de teste utilizada nas análises do serviço SMS tem uma dimensão de 120 caracteres e utiliza diferentes símbolos para melhor verificação da integridade dos conteúdos.

Tendo em conta as condições acima definidas, os parâmetros de teste do serviço de mensagens SMS apresentam os seguintes valores:

- Dimensão da mensagem de teste: 120 caracteres
- Sequência de caracteres da mensagem de teste: `The quick brown fox jumps over the lazy dog. 1234567890 aeiou QUICK BROWN FOX`
- Tempo máximo para envio de SMS: 20 s
- Pausa entre envios consecutivos de SMS: 60 s
- Janela temporal para entrega de SMS: 30 s

5.5 SERVIÇOS DE DADOS

5.5.1 SEQUÊNCIA DE TESTES

Para avaliação do desempenho destes serviços são estabelecidas sessões de dados, em modo de comutação de pacotes, entre os equipamentos de utilizador – *Smartphones* – e *Servidores de Conteúdos* na Internet. Estas sessões são sempre inicializadas pelos *Smartphones*.

Os testes são realizados com a seguinte sequência:

1. Transferência de ficheiro (*HTTP download*);
2. Verificação da latência de transmissão de dados (*Ping*);
3. Transferência de ficheiro (*HTTP upload*);
4. Navegação na Internet – página *web* de referência (*HTTP web browsing*);
5. Navegação na Internet – página *web* pública (*HTTP web browsing*);
6. Visualização de Vídeo (*YouTube*).

Os processos de *login* e autenticação nos servidores não são considerados parte nos testes aos serviços. São assegurados os privilégios adequados de acesso e também que os ficheiros, páginas *web* ou vídeos se encontram disponíveis nos respetivos servidores.

Após uma sequência de testes, ou mesmo nas situações em que houve uma terminação irrecuperável do ciclo, todas as ligações aos servidores de teste são encerradas, é apagada a memória *cache* e é efetuada uma pausa antes de se iniciar nova sequência de testes.

A plataforma de teste não apresenta limitações de espaço de armazenamento e todos os seus

elementos, tanto de *hardware* como de *software*, são homogéneos nos diferentes testes aos vários operadores, nomeadamente:

- Sistema operativo (tipo e versão) e respetiva configuração;
- Dimensão da MTU (*Maximum Transmission Unit*);
- Localização dos Servidores Dedicados de teste;
- Tipo e versão do *browser* utilizado, bem como a respetiva configuração (testes *HTTP Web browsing*);
- Dimensão e tipo dos ficheiros e da página *web* de referência utilizados nos testes;

Os Servidores Dedicados devem ser alojados em local "neutro" e "equidistante" aos vários operadores em análise. A melhor opção em Portugal passa por alojar os Servidores de Teste num *datacenter* na FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.), interligando-os à Internet através de um ponto neutro de troca de tráfego, concretamente através do GigaPIX (Ponto português de troca de tráfego entre redes IP) [GigaPIX]. Estes servidores funcionam nos mesmos moldes dos servidores disponíveis na Internet e estão dedicados exclusivamente à realização destes testes, não apresentando limitações de capacidade de processamento e armazenamento de informação, disponibilidade e largura de banda de acesso.

Estes testes com Servidores Dedicados, alojados em local "neutro" e "equidistante" aos vários operadores, permitem conhecer o desempenho intrínseco das infraestruturas de cada operador e o seu impacto no desempenho dos serviços prestados aos seus clientes.

Complementarmente os testes realizados com Servidores Públicos, que alojem os conteúdos mais procurados pelos internautas portugueses (páginas *web* e *YouTube video clips*), permitem conhecer o impacto das infraestruturas de cada operador no acesso a estes conteúdos por parte dos seus clientes.

Tendo em conta as considerações anteriormente apresentadas foram definidos parâmetros gerais e específicos para cada tipo de serviço que permitem a exequibilidade dos testes e a comparabilidade dos resultados. Os parâmetros gerais de teste são os seguintes:

- ► Pausa entre sequências de teste: 20 s
- ► Pausa entre testes na mesma sequência: 10 s

5.5.2 TRANSFERÊNCIA DE FICHEIROS (*HTTP*)

Os testes de Transferência de Ficheiros (*HTTP upload/download*) são realizados de acordo com o conceito de *tempo fixo de transferência de dados*, ou seja, é realizada a transferência de dados durante um período de tempo predefinido em vez da transferência integral de ficheiros de dimensão fixa.

É utilizado um *Servidor Dedicado* e conteúdos estáveis, ou seja, que não apresentam variações quantitativas e qualitativas. Os ficheiros de teste são do tipo binário, constituídos por sequências aleatórias de *bits*, pelo que não são passíveis de compressão, e apresentam dimensão (virtualmente) infinita.

Os parâmetros específicos para análise do serviço de transferência de ficheiros (*HTTP upload/download*) são os seguintes:

- Localização do Servidor Dedicado: GigaPIX
- Período de transferência de dados: 30 s
- Tempo máximo para estabelecimento de sessão: 30 s

5.5.3 NAVEGAÇÃO NA INTERNET (*HTTP WEB BROWSING*)

Para a avaliação deste serviço são descarregadas duas páginas *web* de dois servidores de conteúdos diferentes:

i. ***Kepler*** – página *web* de referência desenvolvida pelo ETSI [ETSI TR 102 505], alojada em *Servidor Dedicado*;

ii. ***página web pública*** – a página *web* portuguesa mais acedida[3] (com mais *page-views*) pelos internautas de expressão portuguesa, de acordo com o *Ranking Netscope* da *Marktest* [Netscope], alojada em *Servidor Público*.

A página *web* de referência é constituída por uma mistura de texto e imagens e não inclui conteúdos dinâmicos.

Os parâmetros para análise do serviço de navegação na Internet (*HTTP web browsing*) são os seguintes:

- Página *web* de referência utilizada: *Kepler*

[3] À data de início de um estudo.

- Dimensão da página *web* de referência: 800.000 Bytes
- Localização do Servidor Dedicado: GigaPIX
- Página *web* pública: *a determinar*
- Tempo máximo para transferência de página *web*: 30 s
- Tempo máximo para estabelecimento de sessão: 30 s

5.5.4 *YOUTUBE VIDEO STREAMING*

A análise de desempenho do serviço *YouTube Video Streaming*, num determinado local, inclui as capacidades de estabelecimento e terminação de sessões, bem como a integridade da comunicação.

São descarregados vídeos do portal *YouTube*, utilizando *Smartphones*, com duração de 30 segundos.

Será utilizado um dos vídeos públicos mais visualizados[4] pelos internautas portugueses, de acordo com o portal *YouTube*[5].

A qualidade visual dos conteúdos recebidos será estimada através do algoritmo definido pela ITU na sua recomendação J.343 [ITU-T J.343, ITU-T J.343.1].

Os parâmetros de teste utilizados para análise deste serviço de *video streaming* apresentam os seguintes valores:

- Conteúdo: *a definir*
- Duração do conteúdo: 30 s
- Aplicação de reprodução de conteúdos: *player* instalado no *Smartphone*
- Limiar mínimo de uma interrupção: 120 ms
- Tempo máximo para estabelecimento de sessão: 30 s
- Duração máxima de sessão: 45 s

5.5.5 LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Os testes de Latência de Transmissão de Dados são realizados com recurso à ferramenta *ping* (*ICMP*

[4] À data de início de um estudo.

[5] https://www.youtube.com/feed/trending

echo).

É utilizado um *Servidor Dedicado* e efetuada uma sequência de 12 testes, desprezando-se os resultados extremos (o máximo e o mínimo) obtidos para efeitos de cálculo deste indicador.

Os parâmetros específicos de teste são os seguintes:

- Dimensão do pacote de dados: 32 Bytes
- Número de pedidos: 12
- Intervalo entre pedidos: 10 ms
- *ICMP echo timeout:* 2 s
- Localização do Servidor Dedicado: GigaPIX

No sentido de aproximar ainda mais os resultados obtidos com este teste da realidade sentida pelos utilizadores dos serviços móveis, imediatamente antes do teste propriamente dito, será simulada a utilização de um serviço. Para esse efeito, será enviada uma sequência de 10 *ping*, com a seguinte parametrização:

- Dimensão do pacote de dados: 800 Bytes
- Número de pedidos: 10
- Intervalo entre pedidos: 50 ms
- *ICMP echo timeout:* 2 s
- Localização do Servidor Dedicado: GigaPIX

Os resultados obtidos com esta sequência não serão considerados no cálculo da latência.

6 INDICADORES DE QUALIDADE DE SERVIÇO

Nesta secção são definidos indicadores de qualidade que permitem caracterizar o desempenho dos serviços suportados em sistemas de comunicações móveis nas suas diferentes fases de acesso e de utilização[6].

6.1 COBERTURA RÁDIO

6.1.1 DISPONIBILIDADE DA REDE RÁDIO

A disponibilidade da rede é a probabilidade de os serviços móveis estarem disponíveis, para um utilizador, através de uma infraestrutura rádio (cobertura rádio das redes).

$$Disponibilidade\ da\ Rede\ Rádio\ [\%] = \frac{\sum Medições\ com\ os\ Serviços\ Móveis\ Disponíveis}{\sum Medições\ Realizadas} \times 100 \tag{6.1.1}$$

Considera-se que os serviços móveis estão disponíveis quando os níveis de sinal rádio apresentam valores acima de limiares mínimos que permitam a sua utilização. Estes limiares podem ser ajustados pelos operadores móveis e normalmente apresentam valores diferenciados para GSM, UMTS e LTE.

Um equipamento de medida adequado – *Scanner RF* –, combinado com um sistema de georreferenciação, permite obter os níveis de cobertura das redes móveis nos trajetos objeto de estudo.

Tabela 2 – Níveis de Cobertura GSM, UMTS e LTE

Cobertura	GSM	UMTS	LTE
Muito Boa	$-75\ \text{dBm} \leq \text{RxLev}$	$-85\ \text{dBm} \leq \text{CPICH RSCP}$	$-95\ \text{dBm} \leq \text{RSRP}$
Boa	$-85\ \text{dBm} \leq \text{RxLev} < -75\ \text{dBm}$	$-95\ \text{dBm} \leq \text{CPICH RSCP} < -85\ \text{dBm}$	$-105\ \text{dBm} \leq \text{RSRP} < -95\ \text{dBm}$
Aceitável	$-95\ \text{dBm} \leq \text{RxLev} < -85\ \text{dBm}$	$-105\ \text{dBm} \leq \text{CPICH RSCP} < -95\ \text{dBm}$	$-115\ \text{dBm} \leq \text{RSRP} < -105\ \text{dBm}$
Má	$-105\ \text{dBm} \leq \text{RxLev} < -95\ \text{dBm}$	$-115\ \text{dBm} \leq \text{CPICH RSCP} < -105\ \text{dBm}$	$-125\ \text{dBm} \leq \text{RSRP} < -115\ \text{dBm}$
Inexistente	$\text{RxLev} < -105\ \text{dBm}$	$\text{CPICH RSCP} < -115\ \text{dBm}$	$\text{RSRP} < -125\ \text{dBm}$

[6] Estes *Indicadores de Qualidade de Serviço* têm por base as especificações técnicas ETSI TS 102 250, nomeadamente a parte 2, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI EG 202 057, nomeadamente as partes 3 e 4, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133; as recomendações ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910 e ITU-T Q.3960; e os relatórios ECC Report 256 e ECC Report 103 [ETSI TS 102 250-2, ETSI TR 101 578, ETSI TR 102 678, ETSI TR 102 505, ETSI TR 102 581, ETSI EG 202 057-3, ETSI EG 202 057-4, ETSI TS 100 910, ETSI TS 143 022, ETSI TS 145 008, ETSI TS 125 304, ETSI TS 136 304, ETSI TS 136 133, ITU-T P.863, ITU-T P.863.1, ITU-T J.343, ITU-T J.343.1, ITU-T P.910, ITU-T Q.3960, ECC Report 256, ECC Report 103].

6.2 SERVIÇO DE VOZ

6.2.1 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO DE VOZ

A acessibilidade do serviço é a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço de voz, ou seja, a probabilidade de sucesso no estabelecimento de chamadas.

Uma chamada será considerada "Estabelecida com Sucesso" se atingir o terminal chamado (no terminal chamador ouve-se o "sinal de chamar").

$$Acessibilidade\ do\ Serviço\ [\%] = \frac{\sum Chamadas\ Estabelecidas\ com\ Sucesso}{\sum Tentativas\ de\ Estabelecimento\ de\ Chamadas} \times 100$$

(6.2.1)

6.2.2 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS DE VOZ

O tempo de estabelecimento de chamadas é o período de tempo que decorre entre o envio de um endereço de destino completo (número de telefone de destino) e o estabelecimento da chamada.

$$Tempo\ de\ Estabelecimento\ de\ Chamadas\ [s] = t_{sinal_chamar} - t_{envio_endereço}$$

$t_{envio_endereço}$ – momento em que o utilizador pressiona o botão de envio.

t_{sinal_chamar} – momento em que a chamada é estabelecida com sucesso (no terminal chamador ouve-se o "sinal de chamar").

(6.2.2)

6.2.3 RÁCIO DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS DE VOZ

O rácio de terminação de chamadas é a probabilidade de uma chamada, depois de estabelecida com sucesso, se manter ativa durante um determinado período de tempo, terminando de forma normal, ou seja, de acordo com a vontade do utilizador.

$$Rácio\ de\ Terminação\ de\ Chamadas\ [\%] = \frac{\sum Chamadas\ com\ Terminação\ Normal}{\sum Chamadas\ Estabelecidas\ com\ Sucesso} \times 100$$

(6.2.3)

6.2.4 QUALIDADE ÁUDIO DE CHAMADA DE VOZ

Este indicador quantifica a percetibilidade da conversação durante uma chamada de voz. São avaliados os dois sentidos da comunicação e apenas são consideradas as chamadas com terminação normal.

A avaliação deste indicador de QoS consiste na comparação da amostra original de áudio enviada, $X(t)$, com a correspondente amostra degradada recebida, $Y(t)$, no outro extremo da chamada, através da aplicação do algoritmo *POLQA*[7]. O índice objetivo de qualidade áudio obtido através da aplicação deste algoritmo é próximo do que se obteria se a amostra $Y(t)$ fosse submetida à apreciação subjetiva de um painel de utilizadores do serviço.

$$Qualidade\ Áudio\ de\ Chamada_{lado\ A}\,[MOS_{LQO}] = f\{X_B(t)\ ;\ Y_A(t)\}$$

$$Qualidade\ Áudio\ de\ Chamada_{lado\ B}\,[MOS_{LQO}] = f\{X_A(t)\ ;\ Y_B(t)\}$$

$lado\ A;\ lado\ B$ – designação dos dois extremos de uma chamada de voz.
MOS_{LQO} – escala de quantificação da qualidade áudio percebida (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*).
f – função correspondente à aplicação de um algoritmo de cálculo e função de conversão dos resultados em valores MOS_{LQO}.
$X_A(t);\ X_B(t)$ – amostra original de áudio enviada a partir do lado A (B).
$Y_A(t);\ Y_B(t)$ – amostra degradada de áudio recebida no lado A (B), resultante da transmissão da amostra original $X_B(t)$ $(X_A(t))$.

(6.2.4)

Os resultados da aplicação do algoritmo são apresentados numa escala do tipo MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5 designada por MOS_{LQO} (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*), tal como indicado na *Tabela 3*. A escala MOS quantifica o esforço necessário para se perceber uma comunicação.

Tabela 3 - Escala MOS_{LQO}

MOS	Qualidade
5	Excelente
4	Boa
3	Aceitável
2	Pobre
1	Má

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias ("*n*") amostras de áudio $\{X_1(t), X_2(t), ..., X_n(t)\ ;\ Y_1(t), Y_2(t), ..., Y_n(t)\}$, o indicador *Qualidade Áudio de Chamada* é calculado através da média aritmética dos valores obtidos pela aplicação da expressão acima

[7] POLQA – *Perceptual Objective Listening Quality Assessment* [ITU-T P.863, ITU-T P.863.1].

apresentada a cada par de amostras de áudio, ou seja:

$$Qualidade\ Áudio\ de\ Chamada_{lado\ A}\ [MOS_{LQO}] = \frac{\sum_{i=1}^{n} f\{X_{i_B}(t)\ ;\ Y_{i_A}(t)\}}{n}$$

$$Qualidade\ Áudio\ de\ Chamada_{lado\ B}\ [MOS_{LQO}] = \frac{\sum_{i=1}^{n} f\{X_{i_A}(t)\ ;\ Y_{i_B}(t)\}}{n}$$

(6.2.5)

6.3 SMS – Serviço de Mensagens Curtas

6.3.1 Acessibilidade do Serviço SMS

A acessibilidade do serviço é a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço de mensagens SMS, ou seja, a probabilidade de sucesso no envio de mensagens SMS.

$$Acessibilidade\ do\ Serviço\ SMS\ [\%] = \frac{\sum Mensagens\ Enviadas\ com\ Sucesso}{\sum Tentativas\ de\ Envio\ de\ Mensagens} \times 100$$

(6.3.1)

6.3.2 Tempo de Entrega de Mensagem SMS

O tempo de entrega de mensagem SMS corresponde ao período temporal que decorre entre o início do envio da mensagem para o *Centro de Mensagens (SMSC)* e o fim da receção da mesma mensagem pelo equipamento terminal de destino.

$$Tempo\ de\ Entrega\ de\ Mensagem\ SMS\ [s] = t_{fim_receção} - t_{início_envio}$$

$t_{início_envio}$ – momento em que o utilizador inicia o envio da mensagem SMS.

$t_{fim_receção}$ – momento em que o equipamento terminal de destino termina a receção da mensagem SMS enviada pelo equipamento terminal originador.

(6.3.2)

As mensagens entregues com erros ou fora da janela temporal predefinida e as multirreceções de mensagens não são consideradas no cálculo deste indicador. Uma mensagem SMS é considerada recebida com erro desde que, pelo menos, um dos seus *bits* não esteja correto.

6.3.3 RÁCIO DE ENTREGA DE MENSAGEM SMS

O rácio de entrega de mensagem SMS é a probabilidade de uma mensagem ser entregue com sucesso ao destinatário, ou seja, a relação entre o número de mensagens recebidas com sucesso pelo equipamento terminal de destino e o número de mensagens enviadas pelo equipamento terminal de origem.

$$Rácio\ de\ Entrega\ de\ Mensagem\ SMS\ [\%] = \frac{\sum Mensagens\ Recebidas\ com\ Sucesso}{\sum Tentativas\ de\ Envio\ de\ Mensagens} \times 100$$

(6.3.3)

As mensagens entregues com erros ou fora da janela temporal predefinida são consideradas falhadas para efeitos de cálculo deste indicador. Uma mensagem SMS é considerada recebida com erro desde que, pelo menos, um dos seus *bits* não esteja correto.

As multirreceções de mensagens não são contabilizadas neste indicador.

6.4 SERVIÇOS DE DADOS

6.4.1 RÁCIO DE TERMINAÇÃO DE SESSÕES DE DADOS (*HTTP, HTTP WEB BROWSING E YOUTUBE VIDEO STREAMING*)

Esta é a probabilidade de uma sessão de dados (Transferência de Ficheiros – *HTTP upload/download* – , Navegação na Internet – *HTTP web browsing* – ou *YouTube Video Streaming*) ser estabelecida e decorrer com sucesso, ou seja, manter-se ativa durante a totalidade do período predefinido para transferência de ficheiros (*HTTP upload/download*), permitir a transferência da totalidade da página *web* (*HTTP web browsing*) ou permitir a transferência e a reprodução completa de conteúdos multimédia (*YouTube Video Streaming*).

$$Rácio\ de\ Terminação\ de\ Sessões\ de\ Dados\ [\%] = \frac{\sum Sessões\ Terminadas\ com\ Sucesso}{\sum Tentativas\ de\ Estabelecimento\ de\ Sessões} \times 100$$

(6.4.1)

6.4.2 VELOCIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS (*HTTP*)

Este indicador quantifica a velocidade média de transferência de dados durante uma sessão de *Transferência de Ficheiros* (*HTTP upload/download*).

No cálculo deste indicador, apenas são consideradas as sessões de utilização do serviço terminadas com sucesso (as que se mantiveram ativas durante a totalidade do período predefinido para transferência de ficheiros).

$$Velocidade\ de\ Transferência\ de\ Dados\ [kbps] = \frac{Dimensão\ da\ Informação\ Enviada\ ou\ Recebida\ [kbit]}{Tempo\ de\ Envio\ ou\ de\ Receção\ [s]}$$

$Tempo\ de\ Envio\ ou\ de\ Receção$ – Período predefinido para envio ou receção de informação. Não inclui o tempo necessário para estabelecer as sessões de dados (fases de registo na rede de comutação de pacotes, de ativação do contexto PDP (para GSM/UMTS) ou *Dedicated EPS Bearer Setup* (para LTE) e de autenticação no servidor remoto).

(6.4.2)

6.4.3 DURAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE PÁGINA *WEB* (*HTTP WEB BROWSING*)

Este indicador quantifica o tempo médio necessário para a transferência de uma página *web* (de referência ou outra).

No cálculo deste indicador, apenas são consideradas as sessões de utilização do serviço terminadas com sucesso (as que permitiram a transferência da totalidade da página *web*).

$$Duração\ de\ Transferência\ da\ Página\ web\ [s] = t_{fim_receção} - t_{pedido_página_web}$$

$t_{pedido_página_web}$ – momento em que o equipamento de utilizador efetua o pedido de receção da página *web*.
$t_{fim_receção}$ – momento em que a totalidade da página *web* é recebida pelo equipamento de utilizador.

(6.4.3)

6.4.4 TEMPO ATÉ INÍCIO DE VISUALIZAÇÃO DE CONTEÚDOS (*YOUTUBE VIDEO STREAMING*)

O *Tempo até Início de Visualização de Conteúdos em Sessão de YouTube Video Streaming* é o período de tempo que decorre entre o pedido de um conteúdo multimédia (o utilizador "pressiona" em "*play*") e o início da reprodução (visualização da primeira imagem) do mesmo conteúdo no equipamento terminal de utilizador.

$$Tempo\ até\ Início\ de\ Visualização\ de\ Conteúdos\ [s] = t_{início\ de\ reprodução} - t_{pedido\ do\ conteúdo}$$

$t_{pedido\ do\ conteúdo}$ – momento em que o utilizador efetua o pedido de um conteúdo.
$t_{início\ da\ reprodução}$ – momento em que ocorre o início da reprodução dos conteúdos solicitados no terminal do utilizador.

(6.4.4)

6.4.5 DURAÇÃO DAS INTERRUPÇÕES (*YOUTUBE VIDEO STREAMING*)

Este indicador agrega a duração de todas as interrupções ou paragens na reprodução (*freezing*) ocorridas durante uma sessão de *YouTube Video Streaming* com terminação normal. Apenas são consideradas as interrupções percetíveis para o utilizador (com duração superior a 120 ms [ETSI TR 101 578]).

$$Duração\ das\ Interrupções\ [s] = \sum_{i=0}^{n} (Duração\ de\ Interrupção)_i\ [s]$$

n – número total de interrupções ocorridas durante uma sessão.

(6.4.5)

6.4.6 QUALIDADE VÍDEO (*YOUTUBE VIDEO STREAMING*)

Este indicador quantifica a qualidade visual da comunicação, durante uma sessão *YouTube Video Streaming*. Apenas são consideradas as sessões com terminação normal.

A qualidade vídeo é estimada através do algoritmo definido pela ITU na sua recomendação J.343.1 [ITU-T J.343.1]. Este algoritmo baseia-se num modelo sem-referência[8] (*Hybrid-NRe – hybrid no-reference encrypted*), ou seja, a qualidade visual é estimada através da análise do vídeo recebido e sem ser conhecido o vídeo originalmente transmitido.

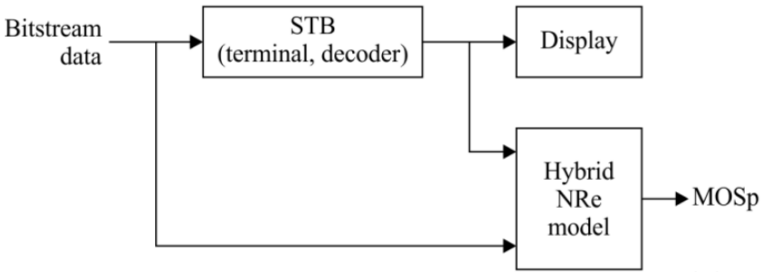

Figura 3 – Diagrama de blocos do modelo *Hybrid-NRe* [ITU-T J.343.1].

O modelo *Hybrid-NRe* permite medir o efeito visual das degradações espaciais e temporais resultantes da codificação, erros de transmissão ou redimensionamento do vídeo transmitido.

[8] A utilização de um modelo "sem-referência" possibilita a realização de testes com qualquer conteúdo público disponível no *YouTube*.

A qualidade visual, estimada por este modelo, é apresentada numa escala MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5, derivada da escala ACR (*absolute category rating*) definida na recomendação P.910 da ITU [ITU-T P910] e apresentada na *Tabela 4*.

Tabela 4 - Escala MOS [ITU-T P.910]

MOS	Qualidade
5	Excelente
4	Boa
3	Aceitável
2	Pobre
1	Má

6.4.7 RESOLUÇÃO DE REPRODUÇÃO DE VÍDEO (*YOUTUBE VIDEO STREAMING*)

Numa sessão de *YouTube Video Streaming*, o portal *YouTube* possibilita a adaptação dinâmica da resolução vídeo dos conteúdos transmitidos, otimizando-a para a largura de banda disponível e as características do equipamento terminal móvel, melhorando a experiência de visualização.

Este indicador quantifica a resolução de reprodução de vídeo média de uma sessão *YouTube Video Streaming*. Apenas são consideradas as sessões com terminação normal.

$$Resolução\ de\ Reprodução\ de\ Vídeo\ [p] = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Resolução\ de\ fragmento\ de\ vídeo)_i\ [p]}{n}$$

n – número total de fragmentos de vídeo que compõem o conteúdo recebido no equipamento terminal móvel.

(6.4.6)

6.4.8 LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Este indicador quantifica o tempo necessário para que um pacote de informação viaje desde o equipamento de utilizador até ao *Servidor Dedicado* ou *vice-versa*. Este atraso corresponde a metade do *Round Trip Time* (RTT) obtido pela ferramenta *Ping* (*ICMP echo*).

$$Latência\ de\ Transmissão\ de\ Dados\ [ms] = \frac{Ping_{RTT}[ms]}{2}$$

(6.4.7)

REFERÊNCIAS / BIBLIOGRAFIA

[ANACOM] ANACOM. "Serviços móveis - 2.º trimestre de 2016". http://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1393400#.WBnT_hLo39L, consultado em 2 de novembro de 2016.

[Arcep] Arcep. "Observatoire sur la couverture et la qualité des services mobiles". http://www.arcep.fr/index.php?id=13272 , consultado em 4 de novembro de 2016.

[Cisco_VNI] Cisco. "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020". http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html , consultado em 18 de novembro de 2016.

[ECC Report 103] CEPT-ECC. *ECC Report 103 – UMTS coverage measurements*, maio de 2016.

[ECC Report 256] CEPT-ECC. *ECC Report 256 – LTE coverage measurements*, 17 de outubro de 2016.

[Ericsson_MR] Ericsson. "Ericsson Mobility Report". https://www.ericsson.com/mobility-report , consultado em 18 de novembro de 2016.

[ETSI EG 202 057-1] ETSI EG 202 057-1 V1.3.1 (2008-07): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 1: General", 2008.

[ETSI EG 202 057-2] ETSI EG 202 057-2 V1.3.2 (2011-04): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS", 2011.

[ETSI EG 202 057-3] ETSI EG 202 057-3 V1.1.1 (2005-04): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 3: QoS parameters specific to Public Land Mobile Networks (PLMN)", 2005.

[ETSI EG 202 057-4] ETSI EG 202 057-4 V1.2.1 (2008-07): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access", 2008.

[ETSI ES 202 057-1] ETSI ES 202 057-1 V2.1.1 (2013-01): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 1: General", 2013.

[ETSI TR 101 578] ETSI TR 101 578 V1.2.1 (2015-07): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects of TCP-based video services like YouTube™", 2015.

[ETSI TR 102 505] ETSI TR 102 505 V1.3.1 (2012-11): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); Development of a Reference Web page", 2012.

[ETSI TR 102 506] ETSI TR 102 506 V1.4.1 (2011-08): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); Estimating Speech Quality per Call", 2011.

[ETSI TR 102 581] ETSI TR 102 581 V1.2.1 (2015-11): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); A Study on the Minimum Additional Required Attenuation on the Antenna Path of the Field Test Equipment", 2015.

[ETSI TR 102 678] ETSI TR 102 678 V1.2.1 (2011-05): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS Parameter Measurements based on fixed Data Transfer Times", 2011.

[ETSI TS 100 910] ETSI TS 100 910 V8.20.0 (2005-11): "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Transmission and Reception (3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999)", 2005.

[ETSI TS 102 250-1] ETSI TS 102 250-1 V2.2.1 (2011-04): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 1: Assessment of Quality of Service", 2011.

[ETSI TS 102 250-2] ETSI TS 102 250-2 V2.5.1 (2016-06): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation", 2016.

[ETSI TS 102 250-3] ETSI TS 102 250-3 V2.3.2 (2015-08): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 3: Typical procedures for Quality of Service measurement equipment", 2015.

[ETSI TS 102 250-4] ETSI TS 102 250-4 V2.2.1 (2011-04): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 4: Requirements for Quality of Service measurement equipment", 2011.

[ETSI TS 102 250-5] ETSI TS 102 250-5 V2.4.2 (2015-09): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 5: Definition of typical measurement profiles", 2015.

[ETSI TS 102 250-6] ETSI TS 102 250-6 V1.2.1 (2004-10): "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 6: Post processing and statistical methods", 2004.

[ETSI TS 102 250-7] ETSI TS 102 250-7 V1.1.1 (2009-10): "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 7: Network based Quality of Service measurements", 2009.

[ETSI TS 125 304] ETSI TS 125 304 V13.0.0 (2016-01): "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode (3GPP TS 25.304 version 13.0.0 Release 13)", 2016.

[ETSI TS 136 133] ETSI TS 136 133 V13.3.0 (2016-05): "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management (3GPP TS 36.133 version 13.3.0 Release 13)", 2016.

[ETSI TS 136 304] ETSI TS 136 304 V13.3.0 (2016-10): "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode (3GPP TS 36.304 version 13.3.0 Release 13)", 2016

[ETSI TS 143 022] ETSI TS 143 022 V13.1.0 (2016-08): "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode and group receive mode (3GPP TS 43.022 version 13.1.0 Release 13)", 2016.

[ETSI TS 145 008] ETSI TS 145 008 V13.2.0 (2016-08): "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Radio subsystem link control (3GPP TS 45.008 version 13.2.0 Release 13)", 2016.

[GfK_TEMAX] GfK. "TEMAX – TEchnical MArket IndeX". http://temax.gfk.com/ , consultado em 17 de novembro de 2016.

[GigaPIX] GigaPIX: "Ponto português de troca de tráfego entre redes IP". https://www.fccn.pt/pt/servicos/conectividade-e-infraestrutura/gigapix/ , consultado em 27 de outubro de 2016.

[IDC] IDC. "Smartphone OS Market Share, 2016 Q2". http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp , consultado em 17 de novembro de 2016.

[ITU-T E.800] Recommendation ITU-T E.800 (09/2008): "Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services; Definitions of terms related to quality of service", 2009.

[ITU-T J.343.1] Recommendation ITU-T J.343.1 (11/2014): "Measurement of the quality of service - Part 3; Hybrid-NRe objective perceptual video quality measurement for HDTV and multimedia IP-based video services in the presence of encrypted bitstream data", 2015.

[ITU-T J.343.2] Recommendation ITU-T J.343.2 (11/2014): "Measurement of the quality of service - Part 3; Hybrid-NR objective perceptual video quality measurement for HDTV and multimedia IP-based video services in the presence of non-encrypted bitstream data", 2015.

[ITU-T J.343] Recommendation ITU-T J.343 (11/2014): "Measurement of the quality of service - Part 3; Hybrid perceptual bitstream models for objective video quality measurements", 2015.

[ITU-T P.863.1] Recommendation ITU-T P.863.1 (09/2014): "Methods for objective and subjective assessment of speech quality; Application guide for Recommendation ITU-T P.863", 2015.

[ITU-T P.863] Recommendation ITU-T P.863 (09/2014): "Methods for objective and subjective assessment of speech quality; Perceptual objective listening quality assessment", 2015.

[ITU-T P.910] Recommendation ITU-T P.910 (04/2008): "Audiovisual quality in multimedia services; Subjective video quality assessment methods for multimedia applications", 2009.

[ITU-T Q.3960] Recommendation ITU-T Q.3960 (07/2016): "Testing specifications – Testing specifications for next generation networks; Framework of Internet related performance measurements", 2016

[Marktest_BTC] Marktest. "Barómetro de Telecomunicações". http://mpt.marktest.pt/ , consultado em 17 de novembro de 2016.

[MEO] MEO. "Ofertas comerciais a particulares". https://www.meo.pt/ , consultado em 24 de novembro de 2016.

[Netscope] Netscope/Weborama/Martest. "Medição *site-centric* padronizada de tráfego de *sites*". http://www.netscope.marktest.pt/ , consultado em 10 de novembro de 2016.

[NOS] NOS. "Ofertas comerciais a particulares". http://www.nos.pt/particulares/Pages/home.aspx, consultado em 24 de novembro de 2016.

[Ofcom] Ofcom. "Smartphone Cities: measuring mobile broadband and voice performance". https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/broadband-research/smartphone-cities , consultado em 4 de novembro de 2016.

[Soldani *et al.*] David Soldani, Man Li e Renaud Cuny (eds.). *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 2006.

[Soldani] David Soldani. "QoS Management in UMTS Terrestrial Radio Access FDD Networks". Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2005.

[Strategy_Analytics] Strategy Analytics. "Android Captures Record 88 Percent Share of Global Smartphone Shipments in Q3 2016". https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/devices/smartphones/smart-phones/2016/11/02/android-captures-record-88-percent-share-of-global-smartphone-shipments-in-q3-2016#.WC30sPTo39I , consultado em 17 de novembro de 2016.

[Vodafone] Vodafone. "Ofertas comerciais a particulares". http://www.vodafone.pt/main/particulares/, consultado em 24 de novembro de 2016.