

Ministério da Economia e do Emprego

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Núcleo de Tecnologias de Informação em Hidráulica e Ambiente

**PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL
PARA EMERGÊNCIAS**

João Palha Fernandes

Lisboa • fevereiro de 2013

Tese apresentada a concurso para a obtenção do grau de Especialista pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e para acesso à categoria de Investigador Auxiliar

I&D HIDRÁULICA
TESE

Resumo

As autoridades de proteção civil precisam de avisar as populações em situações de perigo, de forma rápida, previsível e atempada. Esta necessidade é particularmente notada, em situações de emergência, como os desastres naturais ou tecnológicos, quando se pretende informar a população numa determinada área, das ações que devem executar para limitar os danos potenciais.

O envio do aviso à população é habitualmente feito através de contactos porta a porta, altifalantes, sirenes, telefones, rádio, televisão e muitos outros canais de comunicação. Todavia, o envio do aviso através de um único destes canais possui limitações, não conseguindo satisfazer todos os requisitos desejáveis.

Para a resolução deste problema é proposta e especificada uma arquitetura modular para sistemas de aviso que permite integrar redes de aviso baseadas em distintos canais de comunicação, permitindo o envio do aviso, de forma integrada através de diversos canais. A adoção desta arquitetura permite construir um sistema de aviso baseado em múltiplos canais de comunicação, um sistema de aviso multicanal.

Para mostrar as possibilidades da arquitetura foram especificadas redes de aviso baseadas em dois canais de comunicação distintos: SMS e televisão digital. Para cada rede de aviso foram identificadas limitações e propostas soluções, nomeadamente para o aumento da rapidez no envio do aviso, melhoria na seletividade do envio, utilização da língua preferida do destinatário, aumento do volume de mensagens que é possível enviar em tempo útil e introdução de mecanismos de autenticação do aviso.

Em particular, foi feita a caracterização analítica de uma rede móvel celular em dois cenários de desastre para tentar compreender o comportamento de uma rede de aviso suportada em SMS. Os resultados mostram que o SMS pode ser utilizado nalgumas situações, dependendo do número de pessoas na zona de risco.

Abstract

Authorities are required to warn and inform people in danger in a predictable, quick and timely manner. This need is particularly noticeable in emergency situations, like natural or technological disasters, when authorities want to alert people to the danger.

Warnings can be sent through personal contacts, speakers, sirens, phones, radio, television and many other communication channels. However, warning systems using a single communication channel have a intrinsic limitations and are not sufficiently effective.

A modular system architecture that allows the integration of several emergency warning networks is proposed to solve this problem. Using this architecture warning systems based on multiple communication channels, known as multichannel warning system can be built.

To show the possibilities of the architecture, two emergency warning networks based on different communication channels were specified: one based on SMS and the other based on television. Limitations of each emergency warning network were identified and solutions proposed. The solutions proposed include increasing the speed of warning in submission, improving the warning selectivity, selecting the preferred language of the recipient, increasing the capacity of the network and use of authentication mechanisms to avoid false warnings.

An analytic characterization of a cellular network during two different disaster scenarios was carried out in order to understand the behavior of an SMS warning system. Results show that SMS should be recommended in some disasters depending on the number of people in the risk zone.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho, o apoio nos últimos anos de várias pessoas foi manifestamente importante. Sem este suporte, muitas tarefas revelar-se-iam mais difíceis e algumas quase impossíveis de se concretizar.

Foi fundamental todo o apoio e disponibilidade que o Eng. João Cunha manifestou como orientador desta dissertação. Estendo os meus agradecimentos à Dr.^a Maria Alzira Santos pela disponibilidade que teve como coorientadora e pelo ambiente de trabalho que proporcionou durante os muitos anos que foi chefe de Núcleo que conduziram à escolha do tópico da dissertação.

Sem as condições de trabalho proporcionadas, os incentivos dados e as exigências feitas pela minha colega e atual chefe Doutora Anabela Oliveira não seria possível concretizar muitas das fases intermédias deste projeto.

Os meus colegas Américo Louro e Ana Mendes foram incansáveis, particularmente na fase final onde prestaram um apoio ímpar na revisão do texto e na elaboração de figuras. À Teresa Viseu e à Marta Rodrigues agradeço o fornecimento de dados que permitiram apresentar cenários de desastres realistas. Ao Nuno Charneca agradeço a ajuda prestada que permitiu elaborar muito dos mapas apresentados.

Fica uma palavra de apreço ao Eng. João Gonçalves da Vodafone por ter disponibilizado o acesso ao servidor de SMS. Estendo o meu apreço ao Eng. Carlos Lages e ao Eng. Francisco Neto da Portugal Telecom pelas informações que prestaram sobre a TDT.

Gostaria igualmente de agradecer aos meus pais e irmã, por todo o apoio, paciência e compreensão que manifestaram ao longo dos anos.

Por fim, agradeço à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento concedido no âmbito do projeto PTDC/AAC-AMB/113469/2009 – PAC:MAN que permitiu adquirir algum do equipamento utilizado neste trabalho.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2. SISTEMAS DE AVISO.....	7
2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2. OBJETIVOS DE UM SISTEMA DE AVISO.....	9
2.3. ESTRUTURA DE UM SISTEMA DE AVISO.....	10
2.4. DISSEMINAÇÃO DO AVISO.....	12
2.4.1. Canais de Comunicação do Aviso.....	12
2.4.2. Contacto Pessoal.....	13
2.4.3. Sistemas PA.....	13
2.4.4. Sinais de Aviso de Perigo.....	13
2.4.5. Altifalantes.....	14
2.4.6. Sirenes.....	15
2.4.7. Aeronaves.....	15
2.4.8. Rádio.....	16
2.4.9. Televisão.....	16
2.4.10. Telefone Fixo.....	17
2.4.11. Paging.....	17
2.4.12. SMS.....	18
2.4.13. Difusão Celular.....	18
2.4.14. GPRS.....	19

2.4.15. MMS.....	19
2.4.16. IMS.....	21
2.4.17. RSS.....	21
2.4.18. Televisão Móvel.....	22
2.4.19. Conclusões.....	22
3. SMS – SERVIÇO DE MENSAGENS CURTAS.....	23
3.1. INTRODUÇÃO.....	23
3.2. GÉNESE DO SMS.....	23
3.3. NORMALIZAÇÃO DO SMS.....	25
3.4. ARQUITETURA DO SMS NUMA REDE GSM.....	28
3.4.1. Componentes.....	28
3.4.2. Equipamento Móvel.....	29
3.4.3. Cartão SIM.....	30
3.4.4. Estação Base.....	30
3.4.5. Controlador de Estação Base.....	34
3.4.6. Central de Comutação Móvel e Registo de Assinantes Visitantes.....	35
3.4.7. Registo de Assinantes Locais.....	36
3.4.8. Cliente de SMS.....	37
3.4.9. Servidor de SMS.....	37
3.5. PILHA DE PROTOCOLOS DO SMS.....	38
3.5.1. As Camadas.....	38
3.5.2. Camada de Transmissão.....	39
3.5.3. Camada de Transferência.....	39
3.6. PROTOCOLOS DE ACESSO AO SMSC.....	43
3.7. ENVIO DE MENSAGENS.....	44
3.7.1. Tipos de Serviços.....	44

3.7.2. Serviço de Mensagens Terminadas no Telemóvel.....	45
3.8. CONCLUSÕES.....	47
4. TELEVISÃO.....	49
4.1. INTRODUÇÃO.....	49
4.2. TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO.....	49
4.2.1. A Televisão no Mundo.....	49
4.2.2. A Televisão em Portugal.....	50
4.2.3. Televisão Terrestre.....	51
4.2.4. Televisão por Cabo.....	54
4.2.5. Televisão por Satélite.....	55
4.2.6. IPTV.....	57
4.3. INTERNET TV.....	60
4.4. TELEVISÃO MÓVEL.....	61
4.5. CONCLUSÕES.....	61
5. PROPOSTA DE UM SISTEMA DE REDES DE AVISO.....	63
5.1. INTRODUÇÃO.....	63
5.2. REQUISITOS DO SISTEMA.....	65
5.3. ARQUITETURA DO SISTEMA DE REDES DE AVISO.....	67
5.4. SUBSISTEMA DE CRIAÇÃO E EXPEDIÇÃO DE AVISOS.....	68
5.4.1. Estrutura.....	68
5.4.2. Funções.....	69
5.5. REDE DE INTERLIGAÇÃO.....	71
5.5.1. Gateways.....	71
5.5.2. Comandos do Gateway.....	72
5.5.3. Comando CAPABILITY.....	73

5.5.4. Comando CREATE_EW.....	74
5.5.5. Comando UPDATE_EW.....	76
5.5.6. Comando DELETE_EW.....	77
5.5.7. Comando DELETE_ALL_EW.....	77
5.6. REDE DE TRANSMISSÃO.....	77
5.7. OUTRAS FUNCIONALIDADES.....	78
5.8. CONCLUSÕES.....	78
6. PROPOSTA DE UMA REDE DE AVISO DE SMS.....	81
6.1. INTRODUÇÃO.....	81
6.2. LIMITAÇÕES DO SMS.....	82
6.2.1. Restrições Derivadas do Planeamento da Rede.....	82
6.2.2. Complexidade na Comunicação com o Telemóvel.....	83
6.2.3. Falta de Mecanismos de Autenticação da Mensagem.....	84
6.2.4. Atrasos e Perdas de Mensagens.....	85
6.3. SOLUÇÕES PARA AS LIMITAÇÕES DO SMS.....	86
6.3.1. Generalidades.....	86
6.3.2. Submissão da Mensagem.....	87
6.3.3. Identificação dos Destinatários do Aviso.....	90
6.3.4. Precisão da Localização dos Destinatários.....	94
6.3.5. Mensagem em Diversas Línguas.....	95
6.3.6. Segurança.....	98
6.3.7. Capacidade.....	99
6.3.8. Problemas Potenciais.....	99
6.4. MODELAÇÃO.....	100
6.4.1. Abordagem e Cenários Escolhidos.....	100
6.4.2. Síntese da Metodologia.....	102

6.4.3. Dados Obtidos.....	103
6.4.4. Detalhes da Metodologia.....	106
6.4.5. Rutura das Barragens de Alqueva e Pedrógão.....	121
6.4.6. Inundação na Ria de Aveiro.....	130
6.5. CONCLUSÕES.....	140
7. PROPOSTA DE UMA REDE DE AVISO DE TELEVISÃO.....	143
7.1. INTRODUÇÃO.....	143
7.2. REDE DE AVISO PROPOSTA.....	144
7.2.1. Arquitetura Geral.....	144
7.2.2. Gateway de Televisão.....	144
7.2.3. Rede de Distribuição.....	145
7.2.4. Recetores de Televisão.....	148
7.3. SOLUÇÕES PARA DIFERENTES MODALIDADES DE TELEVISÃO.....	151
7.3.1. Televisão por Subscrição.....	151
7.3.2. Televisão de Acesso Livre.....	152
7.3.3. Autenticação do Aviso.....	156
7.4. CONCLUSÕES.....	160
8. CONCLUSÕES.....	163
8.1. INTRODUÇÃO.....	163
8.2. SÍNTESE.....	163
8.3. CONTRIBUIÇÕES.....	164
8.4. TÓPICOS PARA TRABALHO FUTURO.....	165
8.4.1. Generalidades.....	165
8.4.2. Simulação do SMS em redes GSM.....	165
8.4.3. Piloto do subsistema de criação e expedição de avisos.....	165

8.4.4. Comportamento do SMS em Redes GSM e UMTS.....	166
8.4.5. Toques das Sirenes a Nível Europeu.....	166
8.4.6. Rede de Aviso baseada no RDS.....	167
REFERÊNCIAS.....	169
ANEXO A – MODELAÇÃO POR SIMULAÇÃO.....	181

Índice de Figuras

Fig. 1 - Sirene dos Bombeiros Voluntários de Mafra.....	1
Fig. 2 - Subsistemas de um sistema de aviso.....	10
Fig. 3 - Sinal de arriba em erosão.....	14
Fig. 4 - Requisito original para a existência do SMS como parte do GSM.....	24
Fig. 5 - Referência de um documento técnico do 3GPP.....	27
Fig. 6 - Rede GSM.....	28
Fig. 7 - Antena e mastro de uma estação base (Campus do LNEC).....	31
Fig. 8 - Célula setorizada.....	31
Fig. 9 - Cluster com 4 células.....	32
Fig. 10 - Canais lógicos.....	33
Fig. 11 - Controlador de Estação Base.....	35
Fig. 12 - Central de Comutação Móvel.....	35
Fig. 13 - Ligação entre duas redes móveis.....	36
Fig. 14 - Aplicação de SMS num telemóvel.....	37
Fig. 15 - Camadas da Pilha de Protocolos do SMS.....	38
Fig. 16 - Transferência de mensagens entre dois telemóveis.....	40
Fig. 17 - Localização do telemóvel (antes da entrega da mensagem).....	46
Fig. 18 - Entrega do SMS (após a localização do telemóvel do destinatário).....	47
Fig. 19 - Televisor à venda em 1957	49
Fig. 20 - Adoção de normas de televisão digital (Wikipedia, 2012).....	53
Fig. 21 - Rede de distribuição de televisão por cabo.....	54
Fig. 22 - Cobertura de uma transmissão por satélite (Elbert, 2004).....	56
Fig. 23 - Componentes de um sistema de televisão por satélite (adaptado de Elbert(2004))...	56
Fig. 24 - Arquitetura de uma rede IPTV (Domingues, 2009).....	58

Fig. 25 - Arquitetura do Sistema de Redes de Aviso.....	68
Fig. 26 - Mensagens de diferentes origens.....	85
Fig. 27 - Conexão direta ao servidor de SMS de cada operador.....	88
Fig. 28 - Conexão direta ao servidor de SMS de um único operador.....	88
Fig. 29 - Conexão através de um gateway.....	89
Fig. 30 - Identificação da célula.....	91
Fig. 31 - Identificação melhorada da célula.....	92
Fig. 32 - Tempo de chegada.....	92
Fig. 33 - Diferença de tempo de chegada observado.....	93
Fig. 34 - Ângulo de chegada.....	93
Fig. 35 - Estrutura do MSISDN.....	97
Fig. 36 - Possível solução para implementar uma rede de teste.....	101
Fig. 37 - Smartphone utilizado na recolha de dados.....	109
Fig. 38 - Programa utilizado na recolha de dados.....	109
Fig. 39 - Distribuição da potência do sinal de uma estação base com duas células.....	116
Fig. 40 - Canais de sinalização utilizados na receção de uma mensagem.....	119
Fig. 41 - Barragem de Alqueva.....	121
Fig. 42 - Barragem de Pedrógão.....	122
Fig. 43 - Rutura da barragem de Teton nos Estados Unidos.....	123
Fig. 44 - Zonas de Risco em caso de rutura das barragens de Alqueva e Pedrógão.....	124
Fig. 45 - Percurso no vale do Guadiana em Alqueva e Pedrógão.....	125
Fig. 46 - Estações base da Vodafone em Alqueva e Pedrógão.....	126
Fig. 47 - Cobertura das células da Vodafone em Alqueva e Pedrógão.....	127
Fig. 48 - Células de risco em Alqueva e Pedrógão.....	128
Fig. 49 - Imagem de satélite da Ria de Aveiro e sua localização em Portugal.....	131
Fig. 50 - Tempos de chegada da onda inundação após o início do storm surge.....	133

Fig. 51 - Inundação na Ria de Aveiro.....	133
Fig. 52 - Percurso na Ria de Aveiro.....	134
Fig. 53 - Estações base nas vizinhanças da Ria de Aveiro.....	135
Fig. 54 - Cobertura das estações base da Vodafone nas vizinhanças da Ria de Aveiro.....	136
Fig. 55 - Células de risco da Ria de Aveiro.....	137
Fig. 56 - Rede dos emissores da TDT em Portugal Continental.....	146
Fig. 57 - Rede de ADSL em Portugal Continental (Anacom, 2008a).....	147
Fig. 58 - Cobertura europeia do satélite Hispasat 1C (Hispasat, 2013).....	148
Fig. 59 - Camadas de <i>software</i> de um descodificador.....	149
Fig. 60 - Solução para a Televisão por Subscrição.....	151
Fig. 61 – Aviso Inserido nos Centros de Difusão.....	154
Fig. 62 - Aviso inserido nos emissores.....	155
Fig. 63 - Código QR feito em calçada portuguesa na R. Garrett em Lisboa.....	157
Fig. 64 - Código QR correspondente ao aviso assinado.....	159
Fig. 65- Estrutura de módulos em OMNeT++ (Varga, 2011).....	186
Fig. 66 - Serviço de mensagem terminadas no telemóvel (baseado em Hillebrand, 2010)....	188
Fig. 67 - Ligações entre as entidades da rede GSM.....	188
Fig. 68 - Interfaces na rede GSM.....	189
Fig. 69 - Pilha de protocolos nos canais de sinalização.....	190
Fig. 70 - Combinação de canais lógicos em pequenas células.....	190
Fig. 71 - Combinação IV de canais lógicos em células médias ou grandes.....	191
Fig. 72 - Combinação VII de canais lógicos em células médias ou grandes.....	191
Fig. 73 - Burst normal.....	192
Fig. 74 - Burst de acesso.....	192
Fig. 75 - Hierarquia de classes da rede GSM.....	194
Fig. 76 - Código que descreve a funcionalidade da BSC (Extrato).....	194

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Os 10 desastres naturais mais mortíferos em 2011 (EM-DAT, 2012).....	7
Tabela 2 - Versões do GSM/UMTS.....	26
Tabela 3 - Especificações técnicas do SMS.....	27
Tabela 4 - Tipos de segmentos.....	41
Tabela 5 - Conjunto de caracteres GSM.....	41
Tabela 6 - Comprimento máximo da mensagem curta em função da codificação.....	42
Tabela 7 - Classes de segmentos.....	42
Tabela 8 - Prazo de validade (formato relativo).....	43
Tabela 9 - Frequências atribuídas à televisão analógica (Anacom, 2010a).....	52
Tabela 10 - Frequências da TDT (Anacom, 2010a).....	53
Tabela 11 - Frequências utilizadas pelos satélites.....	56
Tabela 12 - Diferenças entre Internet TV e IPTV.....	60
Tabela 13 - Vantagens e desvantagens das técnicas de localização baseadas na rede.....	94
Tabela 14 - Parâmetros do assinante armazenados no HLR e VLR.....	97
Tabela 15 - Quotas de mercado por prestador de comunicações móveis (Anacom, 2013a)...	105
Tabela 16 - Quotas de mercado por infraestrutura de rede (Anacom, 2013a).....	105
Tabela 17 - Evolução da taxa de penetração de telemóvel.....	106
Tabela 18 - Taxa de penetração de telemóvel por grupo etário em 2011 (Marktest, 2012)....	106
Tabela 19 - Extrato da localização das estações base da Vodafone.....	112
Tabela 20 - Erro de localização utilizando a Localização pelo Centróide.....	113
Tabela 21 - Comparação de erros de localização numa zona rural.....	114
Tabela 22 - Comparação de erros de localização numa zona suburbana.....	114
Tabela 23 - Chamadas suportadas em função do número de canais existentes.....	120
Tabela 24 – Zonas de risco em caso de rutura de Alqueva.....	124

Tabela 25 - População residente nas células de risco em Alqueva e Pedrógão.....	128
Tabela 26 - Utilizadores de telemóveis nas células de risco em Alqueva e Pedrógão.....	129
Tabela 27 - Assinantes nas células de risco em Alqueva e Pedrógão.....	129
Tabela 28 - Tempo de envio de aviso em Alqueva e Pedrógão.....	130
Tabela 29 - População residente nas células de risco na Ria de Aveiro.....	137
Tabela 30 - Utilizadores de telemóveis nas células de risco na Ria de Aveiro.....	138
Tabela 31 - Assinantes nas células de risco na Ria de Aveiro.....	139
Tabela 32 - Tempo de envio de aviso na Ria de Aveiro.....	140
Tabela 33 - Toques de sirene em diferentes localidades.....	167
Tabela 34 - Indicadores relativos ao cenário com 1 telemóvel.....	196
Tabela 35 - Indicadores relativos ao cenário com 10 telemóveis.....	196

Lista de Acrónimos

3GPP	Third Generation Partnership Project
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AGCH	Access Grant Channel
AoA	Angle of Arrival
API	Application Programming Interface
ATSC	Advanced Television Systems Committee
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BS	Base Station
BSS	Base Station Subsystem; Business Support System
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CATV	Cable Television
CCCH	Common Control Channel
CCH	Control Channels
CEA	Criação e Expedição de Avisos
CEPT	Conference of European Postal and Telecommunication administrations
CGI	Cell Global Identity
DAB	Digital Audio Broadcast
DCCH	Dedicated Control Channels
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTH	Direct to Home
DTMB	Digital Terrestrial Media Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EDTV	Enhanced Definition Television
EPG	Electronic Programming Guide

ERMES	European Radio Messaging System
ESME	External Short Messaging Entity
ETAS	Emergency Telephone Alert System
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EWN	Emergency Warning Networks
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FM	Frequency Modulation
FTTH	Fibre to the Home
GIS	Geographical Information System
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HDTV	High Definition Television
HFC	Hybrid Fiber Coaxial
HLR	Home Location Register
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia System
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
LAC	Location Area Code
LAI	Location Area Identity
LBS	Location Based Service
LMU	Location Measurement Unit
MAP	Mobile Application Part
MCC	Mobile Country Code
ME	Mobile Equipment
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MMS	Multimedia Messaging Service

MMSC	Multimedia Messaging Service Center
MNC	Mobile Network Code
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Centre
MSISDN	Mobile Station Integrated Services Digital Network
MSRN	Mobile Station Roaming Number
MUX	Multiplex
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NSS	Network Subsystem
NTSC	National Television System Committee
O-TDOA	Observed Time Difference of Arrival
OSS	Operation Support System
PAL	Phase Alternating Line
PCH	Paging Channel
PGP	Pretty Good Privacy
PIN	Personal Identification Number
PLC	Power Line Communications
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access Channel
RDS	Radio Data System
RSS	Really Simple Syndication
RSSI	Received Signal Strength Indication
SACCH	Slow Associated Control Channel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SDI	Serial Digital Interface
SDTV	Standard Definition Television
SECAM	Sequencial Couler à Mémoire
SIM	Subscriber Identity Module
SM-AL	Short Message-Application Layer
SM-LL	Short Message-Link Layer
SM-MO	Short Message-Mobile Originated
SM-MT	Short Message-Mobile Terminated
SM-RL	Short Message-Relay Layer
SM-TL	Short Message-Transfer Layer

SME	Short Message Entity
SMPP	Short Message Peer to Peer
SMS	Short Messaging Service
SMSC	Short Messaging Service Centre
STVS	Serviço de Televisão por Subscrição
TDT	Televisão Digital Terrestre
TCH	Traffic Channels
TCH/F	Traffic Channels - Full-rate
TCH/H	Traffic Channels - Half-rate
TDMA	Time-Division Multiple Access
TMSI	Temporary Mobile Station Identity
TOA	Time of Arrival
TRX	Transceiver
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USSD	Unstructured Supplementary Service Data
VHF	Very High Frequency
VLR	Visitor Location Register
VPN	Virtual Private Network
WAP	Wireless Application Protocol
WCL	Weighted Centroid Location
WCLBS	Weighted Centroid Location of Base Station
WGS84	Worldwide Geodetic System 1984
ZAS	Zona de Auto-Salvamento
ZIP	Zona de Intervenção Principal

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

No caso de um desastre, a população em risco espera que as autoridades difundam avisos atempados com informação sobre a ocorrência, instruções sobre o comportamento a adotar e indicações do caminho de evacuação, se for caso disso. Em particular, durante a fase da ação de resposta em situação de emergência, a capacidade de avisar e manter informada a população ao longo da ocorrência utilizando um sistema de aviso permite reduzir as perdas de bens e vidas humanas.

Historicamente, nos países ocidentais, os avisos à população eram feitos através de toques dos sinos das igrejas. Os toques dos sinos eram regulados de acordo com os usos e costumes de cada localidade. A proclamação de D. António José de Castro, Bispo do Porto, datada de 21 de junho de 1808, exemplifica uma regulação da época:

Já mais se toque a Rebate nas Torres, sem que primeiro toque a Cathedral; bem entendido, que tocando na Cathedral sem haver algum signal na Torre he para acudir a fogo na Cidade; e de dia, havendo com o toque huma Bandeira na Torre e de noite hum Farol accezo, he para acudir a defeza, e combater o Inimigo. Os Rebates falsos são perturbadores do socego Público, são causa de inquietação, e origem de desgraças.

As sirenes (Fig. 1) começaram a ser utilizadas nos países envolvidos na 2ª Guerra Mundial para aviso de ataques aéreos. No fim da guerra, a redução dos custos das sirenes e a crescente disponibilidade da eletricidade, propiciaram que as sirenes fossem substituindo os sinos para efeito de aviso em situações de perigo.

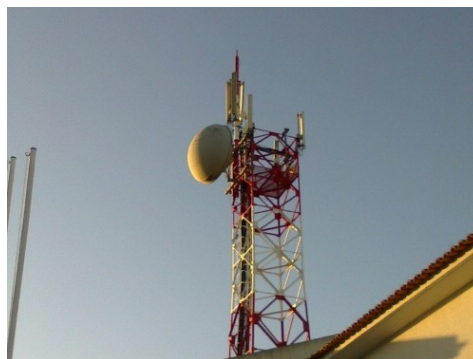


Fig. 1 - Sirene dos Bombeiros Voluntários de Mafra

Em Portugal, a substituição de sirenes por sinos para aviso à população ocorreu a partir de 1944 (Sines. Câmara Municipal, 2009; Silva e Lima, 2010; Salvaterra de Magos. Bombeiros Voluntários, 2011; Mirandela. Câmara Municipal, 2011).

A partir da década de 1950, como resultado das tensões da Guerra Fria e da ameaça de uma guerra nuclear (Office of Civil Defense, 1951), as sirenes foram adaptadas para o aviso de ataques nucleares. A primeira instalação de sirenes em larga escala foi feita na cidade de Detroit nos Estados Unidos. Posteriormente, o seu uso foi expandido para o aviso de desastres naturais (Coleman et al., 2011).

Atualmente, em Portugal, o meio mais utilizado para avisar as populações de um desastre são os toques da sirene. Esta é uma situação que se verifica igualmente em diversos outros países (Sorensen, 2000).

Apesar da sua grande aceitação como forma de difundir o aviso à população, os toques das sirenes possuem limitações significativas. Assim, os toques não permitem transmitir informação sobre as medidas que as pessoas devem tomar para evitar os danos causados pelo desastre. Adicionalmente, é necessário que outros meios sejam utilizados para divulgar as medidas preventivas (e.g. porta a porta, carros equipados com altifalantes, rádio ou televisão). Outra limitação importante é que os toques das sirenes são de difícil audibilidade no interior das habitações ou em locais onde exista ruído de fundo (e.g. no centro das cidades, em locais de grande tráfego, etc.) e podem ser confundidos com outros ruídos frequentes (e.g. toques que anunciam os começos ou fins de turno numa fábrica). Por outro lado, quando são utilizados toques diferentes para caracterizar situações distintas, estes raramente são compreendidos pela população. Por último, a cobertura do território por sirenes está longe de ser total. Para além disso, Sillem e Wiersma (2006) indicam que em média 37% das pessoas ignoram os toques das sirenes.

Atualmente, a crescente utilização de novas tecnologias de comunicação possibilita que se aborde o problema do aviso à população de forma distinta da tradicional. Exemplos destas mudanças de utilização incluem o uso generalizado de telemóveis, a difusão gradual da videotelefonia, o aumento exponencial da utilização da Internet e a mudança da televisão analógica para digital.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como preocupação central a investigação de métodos para avisar e informar as populações expostas a situações de risco. O objetivo geral deste trabalho é o de propor e avaliar soluções baseadas em novas tecnologias de comunicação, que permitam melhorar a eficácia do aviso e da informação enviada à população durante uma emergência.

Os canais de comunicação suportados nas novas tecnologias apresentam também limitações, dependendo do tipo de riscos, das características da população a avisar, dos meios disponíveis e de outros fatores.

Este trabalho propõe uma abordagem para ultrapassar as limitações de cada um dos canais de comunicação, enviando o aviso simultaneamente através de vários canais de comunicação, ou seja recorrendo a um sistema de aviso multicanal. O sucesso desta abordagem exige que se faça uma escolha criteriosa dos canais de comunicação a utilizar para o sistema de aviso multicanal e se estudem formas efetivas de tirar partido da complementaridade dos vários canais, nomeadamente em termos de cobertura, riqueza de conteúdo informativo e flexibilidade de configuração.

Como primeiro canal de comunicação para aviso à população escolheu-se o SMS, um serviço de mensagens disponibilizado na rede de telemóveis. Nas últimas décadas, a cobertura das redes e a taxa de penetração dos telemóveis têm crescido rapidamente (ITU, 2012), permitindo considerar os telemóveis como uma tecnologia com as características apropriadas para ser utilizada em sistemas de aviso. Os telemóveis permitem sinalizar a receção de uma mensagem através de um toque sonoro. Esta mensagem pode ser utilizada para indicar o tipo de perigo, o nível de alerta ou as ações a executar. No entanto, os telemóveis também possuem limitações, como a possibilidade de ficarem sem bateria, os seus utilizadores não os transportarem consigo, estarem desligados ou estarem numa zona sem cobertura de rede.

Como segundo canal de comunicação, escolheu-se a televisão. A televisão é um meio de comunicação muito popular, sendo por esse motivo um bom candidato para difundir avisos à população. Constitui um canal de comunicação particularmente adequado para enviar o aviso para um grande número de destinatários e possibilita o envio de avisos com conteúdos multimédia mais ricos. A recente migração para a televisão digital disponibiliza uma

plataforma de comunicações com novas funcionalidades a explorar. A televisão tem como maior limitação o facto de muitos potenciais telespetadores poderem não ter os recetores de televisão ligados.

O objetivo geral enunciado atrás inclui os seguintes objetivos específicos:

- *relativamente à cobertura da população*, propor soluções que permitam melhorar a cobertura da população exposta a um dado risco;
- *relativamente à capacidade de localização*, propor soluções que permitam avisar a população em risco reduzindo em simultâneo o envio de avisos a quem se encontre fora da zona de risco;
- *relativamente à legibilidade do aviso*, propor soluções que permitam ajudar as pessoas a compreender mais facilmente o que lhes está a ser comunicado, permitindo que ajam de acordo com as instruções indicadas;
- *relativamente à escalabilidade*, propor soluções que permitam avisar populações de diferentes dimensões.

1.3. Organização e Estrutura do Trabalho

O documento encontra-se dividido em oito capítulos.

No presente capítulo, *Introdução*, são apresentados o enquadramento e as motivações que deram origem a este trabalho no contexto atual dos sistemas de aviso. São também estabelecidos os objetivos a atingir e descrita a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, *Sistemas de Aviso*, resume os conhecimentos atuais relativos aos sistemas de aviso numa perspetiva tecnológica e social. São abordados os tópicos mais importantes para o desenvolvimento de sistemas de avisos para desastres com uma baixa probabilidade de ocorrência.

O terceiro capítulo, *SMS*, caracteriza as tecnologias de comunicação que suportam o envio de mensagens de texto nas redes de telemóveis. Em particular, descreve-se em detalhe o funcionamento do SMS nas redes GSM, por representarem o sistema de telemóveis com maior implantação a nível mundial, situação que também se verifica em Portugal.

No quarto capítulo, *Televisão*, são caracterizadas as tecnologias de distribuição da televisão. Mais concretamente descrevem-se as diversas plataformas presentes no mercado televisivo europeu e português: televisão terrestre, televisão por cabo, televisão via satélite e a televisão através de redes IP.

O quinto capítulo, *Proposta de um Sistema de Redes de Aviso*, apresenta e especifica uma arquitetura para um sistema de redes de aviso concebida para suportar as redes de aviso tradicionais baseadas em sirenes e permitir a adoção de novas redes de aviso baseadas em novos canais de comunicação.

O sexto capítulo, *Proposta de uma Rede de Aviso de SMS*, descreve a proposta de uma rede de aviso suportada no SMS utilizando a arquitetura apresentada no capítulo 5. Neste capítulo são propostas soluções para ultrapassar algumas das limitações da utilização do SMS no aviso à população. Para além disso, é avaliado a capacidade de envio de mensagens do SMS em dois cenários de desastre baseado na modelação analítica da rede GSM.

O sétimo capítulo, *Proposta de uma Rede de Aviso de Televisão*, descreve a proposta de uma rede de aviso suportada na televisão baseada na arquitetura proposta no capítulo 5. Neste capítulo são propostas soluções para as diferentes plataformas televisivas existentes em Portugal.

No oitavo capítulo, *Conclusões*, apresenta-se uma síntese do trabalho desenvolvido com realce para as principais contribuições e sugerem-se abordagens a utilizar em trabalhos futuros.

2. Sistemas de Aviso

2.1. Introdução

Os desastres são acontecimentos ameaçadores com a capacidade de produzir danos económicos e sociais não só no momento da sua ocorrência, como a longo prazo.

De acordo com as Nações Unidas, o desastre consiste na “disrupção do funcionamento duma comunidade ou duma sociedade, provocando perdas humanas, materiais, económicas ou ambientais que só com ajuda externa podem ser superadas” (UNISDR, 2009). Esta é apenas uma das muitas definições de desastre que se encontram na literatura.

Os desastres podem ser classificados em naturais ou tecnológicos, consoante resultem de perigos naturais ou decorrentes da atividade humana, respetivamente. Os desastres naturais podem dividir-se em geológicos (e.g. sismos ou erupções vulcânicas), geomorfológicos (e.g. deslizamentos de terras ou erosão costeira), meteorológicos (e.g. tempestades ou nevões), climáticos (e.g. secas, ondas de calor ou vagas de frio) e hidrológicos (e.g. cheias e inundações). Tipos de desastres tecnológicos são os relacionados com os meios de transporte (e.g. acidentes ferroviários, fluviais ou aéreos), as infraestruturas (e.g. colapso de túneis ou cheias e inundações por rutura de barragens), atividade industrial (e.g. acidentes industriais ou emergências radiológicas), etc. Esta é apenas uma das muitas classificações encontradas na literatura (Rutherford e Boer, 1983; Berren et al, 1980).

Em 2011, registaram-se no mundo 332 desastres naturais com custos sociais e económicos muito elevados.

Tabela 1 - Os 10 desastres naturais mais mortíferos em 2011 (EM-DAT, 2012)

Desastre	País	Mortos
Sismo e Tsunami	Japão	19 846
Ciclone Tropical	Filipinas	1 439
Inundação	Brasil	900
Inundação	Tailândia	813
Sismo	Turquia	604
Inundação	Paquistão	509
Inundação	China	467
Tempestade	Estados Unidos	354
Inundação	Camboja	247
Inundação	Índia	204

A ocorrência destes desastres provocou a morte de 30 773 pessoas e afetou 245 milhões de pessoas. Estima-se que os prejuízos económicos resultantes tenham atingido os 366 mil milhões de dólares (Guha-Sapir et al., 2012).

Na linguagem corrente, desastre, perigo e risco usam-se muitas vezes indiferentemente, embora tenham significados distintos. Perigo é um fenómeno ou evento que pode ter consequências devastadoras, enquanto risco é uma medida da probabilidade de ocorrência dum perigo (perigosidade) associada às suas consequências, que dependem da exposição (pessoas e bens que podem ser afetadas) e da vulnerabilidade (maior ou menor capacidade de resistir ao perigo) dos elementos expostos.

Conceptualmente, o risco pode ser avaliado em função da perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade, se for possível serem previamente conhecidos. Atendendo às consequências económicas e sociais, que muitos fenómenos naturais ou induzidos por intervenção humana podem ter, há uma preocupação crescente em reduzir o risco a eles associados, o que implica atuar em todos ou alguns dos fatores que compõem o risco. Este processo é denominado por gestão do risco.

A gestão do risco é, portanto, um processo da maior importância para reduzir os efeitos nefastos dum desastre, que tem sido objeto de recentes iniciativas no sentido da uniformização de abordagens em diferentes áreas, algumas delas concretizadas em documentos normativos que abordam o vocabulário, os conceitos e o processo de gestão do risco, como sejam as normas ISO:2009a e ISO:2009b.

A gestão do risco enquadra “as atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização relativamente ao risco”, sendo o processo de gestão do risco o conjunto de fases a desenvolver, de uma forma cíclica, incluindo: i) o estabelecimento do contexto; ii) a identificação do risco; iii) a análise do risco; iv) a apreciação do risco; v) o tratamento do risco; vi) a comunicação do risco e consulta; e, vii) a monitorização e revisão do risco (Almeida, M. C. et al., 2013).

A identificação e a análise do risco permitem-nos estimar a probabilidade de ocorrência dum perigo. Se essa probabilidade é demasiado alta e a sociedade não tolera ou não pode aceitar as consequências dum possível desastre, torna-se necessário procurar minimizar esse risco, o que pode ser feito na fase de tratamento do risco. A comunicação do risco e o envolvimento da

população, quer durante a preparação das medidas de prevenção, quer na fase de resposta (atuação após o desastre para minimizar os seus efeitos) são de extrema importância.

Entre as medidas utilizadas para mitigar os riscos e efeitos dos desastres encontram-se medidas preventivas e medidas de resposta. Exemplos de medidas preventivas são as políticas de uso dos solos, obras de proteção e normas de construção. Exemplos de medidas de resposta são os seguros, planos de respostas a desastres e sistemas de aviso. Destas medidas, os sistemas de aviso possuem a característica de serem a última linha de defesa para reduzir as consequências nefastas dos desastres. São considerados o elemento fundamental na redução do risco de desastres (United Nations, 2006).

Este capítulo resume os conhecimentos relativos aos sistemas de aviso numa perspetiva tecnológica e social. São abordados os tópicos mais importantes para o desenvolvimento de sistemas de avisos de desastres com uma baixa probabilidade de ocorrência. Os tópicos são apresentados de uma forma genérica e aplicáveis a todos os sistemas de aviso.

2.2. Objetivos de um Sistema de Aviso

Um sistema de aviso é um conjunto organizado de recursos humanos e meios tecnológicos que tem por objetivo informar a população da área eventualmente ameaçada por um desastre informação que lhes permita tomar as ações necessárias para reduzir as mortes, os feridos e as perdas materiais (Mileti e Sorensen, 1990; Glantz, 2004; *ANPC, 2012*).

Para além deste objetivo geral, os sistemas de aviso podem procurar alcançar diversos objetivos específicos. São frequentemente propostos os seguintes objetivos: i) conseguir que a população ameaçada receba o aviso e que tome algum tipo de medida de proteção; ii) orientar as pessoas a tomar a melhor medida de proteção; iii) ajudar as pessoas a compreender que as suas ações são parte da resposta para proteger a comunidade.

Os sistemas de aviso podem englobar diversos público-alvo: a população ameaçada e populações com necessidades especiais.

O fator que não pode ser negligenciado pelos agentes que participam no sistema é a razão fundamental para a existência do sistema de aviso: informar a população ameaçada oportuna e adequadamente.

2.3. Estrutura de um Sistema de Aviso

Um sistema de aviso é o conjunto de recursos necessários para gerar e difundir informação oportuna e relevante a fim de permitir que as pessoas, as comunidades e as organizações ameaçadas por um perigo se preparem e atuem apropriada e atempadamente de forma a reduzir a possibilidade de perdas ou danos (UNISDR, 2009).

Esta definição esconde a complexidade dos sistemas de aviso. Os sistemas de aviso contemporâneos são complexos na sua estrutura organizacional e operacional. Interligam a atividade de várias especialidades no interior das organizações e entre organizações. Podem interligar a ciência, a tecnologia, a administração de diferentes níveis de governo (local, regional e nacional) e a população.

A estrutura dos sistemas de aviso tem sido estudada ao longo das últimas décadas (Moore et al., 1963; Mileti, 1975; Rogers e Nehnevajsa, 1986; Mileti e Sorensen, 1990; Glantz, 2004) existindo um grande consenso sobre a estrutura de um sistema de aviso. De acordo com a literatura¹, um sistema de aviso é constituído por três subsistemas: deteção, gestão e resposta. (Fig. 2).

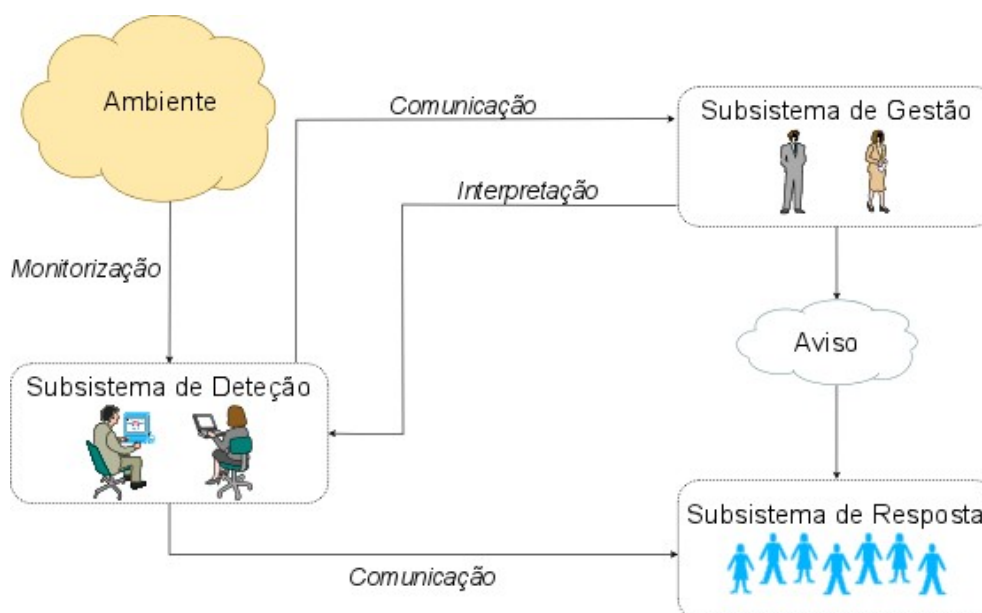


Fig. 2 - Subsistemas de um sistema de aviso

¹ Em Portugal, a ANPC (Autoridade Nacional de Proteção Civil) designa o subsistema de deteção por sistema de monitorização e considera-o independente do sistema de aviso. No contexto nacional, o sistema de aviso é uma parte do subsistema de gestão (ANPC, 2012). No âmbito desta tese, optou-se pela estrutura adotada na literatura, dada a interligação e complementaridade entre estes subsistemas.

O subsistema de deteção tem como preocupação monitorizar o desenvolvimento dum processo ou fenómeno e prever a ocorrência de situações suscetíveis de produzir um desastre. Recolhe, compara, avalia e analisa informação sobre estes fenómenos, e quando necessário, faz uma previsão sobre a possível ocorrência de um desastre.

A previsão, em geral da competência de entidades com responsabilidades científicas e técnicas, é seguidamente comunicada ao subsistema de gestão. Normalmente, isto significa que os especialistas informam as autoridades de proteção civil sobre o previsível início de um desastre. Em algumas circunstâncias, é possível que alguns cidadãos contribuam para o subsistema de deteção através da identificação de sinais relativos à iminência de um desastre e ao dar a conhecê-los a outros (The Telegraph, 2005).

Por exemplo, em Portugal, o IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) é responsável por previsões de situações meteorológicas adversas, o LNEC pelas previsões de rutura de barragens (Dec-Lei 344/2007) e a APA (Agência Portuguesa do Ambiente) pelas previsões de emergências radiológicas (ANPC, 2012).

A tipologia de risco não altera as funções básicas do subsistema de deteção, que consistem na identificação da iminência de um potencial desastre e consequente comunicação à entidade responsável por gerir o desastre. Em Portugal, esta comunicação é feita através dos sistemas de alerta.

O subsistema de gestão, está centrado em tratar a informação de risco recebida do subsistema de deteção e em avisar o público, quando tal se justifique. Deste subsistema fazem parte os organismos, entidades e serviços da proteção civil. Após receber a informação do subsistema de deteção, as autoridades de proteção civil interpretam a informação em termos de danos potenciais (e.g. perdas de vidas e danos patrimoniais) e decidem se o risco justifica o envio de avisos à população. A tomada da decisão de envio de avisos pelas autoridades pode utilizar critérios pré-definidos ou *ad-hoc*. O subsistema de gestão é tipicamente da competência das autoridades locais.

Por exemplo, em Portugal, o Presidente do Município é o responsável pela decisão de aviso de evacuações em caso de cheias. Quando a dimensão da zona afetada o justifique, esta decisão pode ser tomada pelas autoridades distritais ou mesmo pelo Governo.

A tipologia do desastre e o nível de governo da administração responsável pela tomada de decisão do aviso não influenciam as funções deste subsistema, que consistem em interpretar a informação de risco e avisar a população. Para que o sistema de aviso seja eficaz é necessário que a ligação entre o subsistema de deteção e gestão esteja identificada e seja conhecida. Por exemplo, caso as autoridades de proteção civil necessitem de ajuda para interpretar a informação de risco devem poder utilizar a ligação com o subsistema de deteção.

O segundo subsistema, o subsistema de gestão é tipicamente da competência das autoridades locais. Por exemplo, o Presidente do Município é o responsável pela decisão de aviso de evacuações em caso de cheias. Quando a dimensão da zona afetada o justifique pode no entanto ser da responsabilidade das autoridades distritais ou mesmo do Governo.

O subsistema de resposta constitui o terceiro subsistema. Os indivíduos respondem aos avisos recebidos do subsistema de gestão baseados na sua interpretação desses avisos, e a interpretação do público pode ser diferente da dos especialistas que fizeram a previsão ou das autoridades de proteção civil.

Nas secções seguintes descreve-se apenas a componente tecnológica da disseminação do aviso.

2.4. Disseminação do Aviso

2.4.1. Canais de Comunicação do Aviso

Os avisos podem ser enviados à população em risco² através de diversas formas: voz, sinais sonoros, texto ou imagens. Estes avisos podem ser transmitidos através de diferentes canais de comunicação. A forma do aviso é condicionada pelo canal de comunicação utilizado.

Os avisos por voz podem ser transmitidos pessoalmente ou através de chamadas telefónicas, bem como difundidos através de altifalantes, sistemas de endereço público (*Public Address Systems* – sistemas PA) ou rádio. Os avisos por sinais sonoros podem ser feitos através de sinos, apitos, alarmes ou sirenes. A distribuição de folhetos e as redes sociais constituem canais de comunicação que permitem enviar o aviso através de texto. A televisão é um canal de comunicação utilizado para difundir avisos sob a forma de filmes.

² População existente na zona de risco, isto é, na área geográfica que pode sofrer os efeitos do desastre.

Nas secções seguintes descrevem-se os canais de comunicação atualmente mais utilizados para disseminar os avisos e indicam-se as vantagens e limitações de cada um deles.

2.4.2. Contacto Pessoal

O contacto pessoal envolve a utilização de agentes de proteção civil para ir ao encontro das pessoas porta a porta. Este método pode ser utilizado em áreas pouco povoadas ou em áreas onde não exista cobertura através de outros canais de comunicação.

O contacto pessoal tem a grande vantagem de ser o método que melhor convence as pessoas da existência do perigo. Tem, todavia, a desvantagem de ser um método demorado e dispendioso por exigir a alocação de um elevado número de meios de transporte e pessoas.

Para implementar o contacto pessoal, é necessário planear a forma de percorrer toda a área de risco, devendo iniciar-se o percurso nas zonas de maior risco e prosseguindo posteriormente para as de menor risco. Um ensaio do percurso no terreno permite determinar o tempo necessário para avisar a população, bem como os meios necessários para executar este procedimento.

2.4.3. Sistemas PA

Os sistemas de endereço público (sistemas PA) constituem um canal de comunicação que pode ser utilizado para avisar a população em áreas cobertas por tais sistemas, como são os casos de centros comerciais, estádios desportivos, aeroportos ou hospitais. Tipicamente, a difusão do aviso através dos sistemas PA é usada em conjunto com o contacto pessoal.

Os sistemas PA são tipicamente utilizados para difundir o aviso enviado a partir de outro canal de comunicação. Por este motivo, para serem utilizados de forma efetiva é necessário que os sistemas PA possuam um canal direto de comunicação com os gestores da emergência de forma a assegurar que o aviso seja divulgado rapidamente e corretamente.

2.4.4. Sinais de Aviso de Perigo

Podem ser utilizados sinais de aviso de perigo para comunicar diretamente com o público. Frequentemente, os sinais de aviso de perigo ensinam a reconhecer as pistas da iminência do

perigo e indicam os procedimentos de proteção face a essa situação. Em zonas frequentadas por turistas, é habitual que as mensagens indicadas nos sinais de aviso de perigo sejam multilingues.

Os sinais de aviso de perigo podem ser utilizados para complementar outros avisos, caso estejam em locais de fácil visibilidade. Podem também ser utilizados no âmbito de uma campanha de divulgação pública, permitindo que as pessoas que os vêem regularmente possam aprender o que devem fazer na iminência do perigo sem necessitar de um aviso complementar.

Os sinais de aviso de perigo necessitam de manutenções e substituições periódicas, de forma a garantir boas condições de legibilidade das mensagens neles contidos.



Fig. 3 - Sinal de arriba em erosão

2.4.5. Altifalantes

Os altifalantes são equipamentos instalados em veículos dos agentes da proteção civil para serem ouvidos pela população mais próxima.

São por vezes utilizados para avisar a população que não disponha de outros meios de receção do aviso. Revelam-se também úteis para avisar a população durante a noite, quando a maioria das pessoas está a dormir. Têm como desvantagens que é frequentemente difícil às pessoas ouvir o aviso difundido de um veículo em movimento e por vezes apenas parte da mensagem é ouvida pelas pessoas.

2.4.6. Sirenes

As sirenes são dispositivos capazes de emitir um sinal sonoro de grande potência. São, sempre que possível, colocadas no topo de estruturas altas por forma a serem escutadas a uma grande distância e são concebidas para enviar avisos rápidos à população ameaçada.

Embora existam sirenes que podem transmitir mensagens de voz previamente gravadas (Oliveira Costa et al., 2009; Amaral et al., 2008), a larga maioria apenas tem a capacidade de emitir alguns toques (Maфра. Câmara Municipal, 2010). A utilização de sirenes é limitada pela incapacidade que possuem em comunicar mensagens que incluam procedimentos específicos. Na melhor das hipóteses, levam as pessoas a procurar informação adicional, a menos que se divulgue através de intensas campanhas públicas periódicas os procedimentos a adotar quando a sirene tocar. No entanto, tal só é possível em situações onde se pretenda que a população execute os mesmos procedimentos sempre que o aviso seja emitido.

Diferentes toques emitidos por sirenes, como sejam toques intermitentes ou toques bitonais, são difíceis de serem distinguidos pelo público. Por este motivo, a utilização de diferentes sinais pelas sirenes revela-se pouco fundamentada.

Alguns problemas podem condicionar o uso de sirenes: alarmes falsos devido a falhas técnicas, falhas na manutenção dos equipamentos de emergência, redução da cobertura populacional em condições climatéricas adversas e a indiferença pública ao toque das sirenes. As sirenes revelam igualmente dificuldades de propagação de sons no interior das habitações ou em locais com ruído de fundo (e.g. em cidades ou em ruas com tráfego). Outra limitação das sirenes é o seu custo de instalação elevado, devido à necessidade de se garantir a sua resistência a intempéries e a ações de vandalismo. Apesar de todos estes problemas, as sirenes constituem o canal de comunicação mais utilizado pelos sistemas de aviso.

2.4.7. Aeronaves

Em situações excecionais podem utilizar-se aviões e helicópteros como canal de comunicação para o aviso. Aeronaves que voem a baixa altitude podem utilizar altifalantes ou sirenes para avisar a população ameaçada. Alternativamente as aeronaves podem ser utilizadas para lançar folhetos que contenham a mensagem de aviso.

Este canal de comunicação para o aviso é útil para alertar populações que estejam em zonas remotas ou populações que não possam ser avisadas através dos canais de comunicação habituais.

As desvantagens incluem a necessidade de garantir o acesso a aeronaves, os elevados custos de operação e manutenção e a possibilidade de ocorrência de acidentes em locais de difícil pilotagem. Outro problema está na dificuldade em obter sistemas sonoros que permitam difundir mensagens audíveis que se sobreponham ao ruído inerente ao funcionamento da própria aeronave.

2.4.8. Rádio

A rádio é um dos canais mais utilizados para difundir avisos, porque pode chegar rapidamente a um grande número de pessoas fora das horas de descanso. Algumas estações de rádio locais possuem acordos com as autoridades de proteção civil para difundir avisos em situações de desastres (Coimbra. Câmara Municipal, 2009). É no entanto frequente que outras estações de rádio também difundam o aviso.

A existência de planos de notificação e a utilização de comunicados e instruções padronizados permitem aumentar a velocidade a que o aviso pode ser emitido através da rádio.

Uma das desvantagens da utilização da rádio é que a área abrangida pela emissão inclui frequentemente zonas que não estão em risco. A segunda desvantagem das mensagens de rádio é o de não permitirem a utilização de elementos visuais.

2.4.9. Televisão

Os avisos podem ser difundidos através dos canais de televisão. Os canais de televisão possuem uma audiência muito elevada durante o horário noturno, em particular no período compreendido entre as 20 horas e as 23 horas (horário nobre). Todavia, tal com a rádio, a audiência desce consideravelmente durante a madrugada, levando a que durante este período seja um canal pouco indicado para enviar avisos à população.

A televisão possui a vantagem de ser um excelente canal para acompanhar os avisos relativos a desastres que evoluem lentamente. Possui também a vantagem de permitir utilizar no aviso

informações gráficas como mapas ou diagramas ou até mesmo filmes que expliquem um procedimento.

O aviso apenas chega às pessoas que tenham os aparelhos de televisão ligados. Dadas as características de utilização da televisão é também menos provável que o aviso chegue a pessoas que estejam no seu local de trabalho, em locais públicos ou a pé. Outra desvantagem da televisão é o de não permitir o envio da mensagem para uma área específica.

2.4.10. Telefone Fixo

O envio automático de avisos para telefónicos fixos (*Emergency Telephone Alert System – ETAS*) tem sido proposto há várias décadas (Mileti e Sorensen, 1990).

Na maioria dos casos estes sistemas utilizam mensagens pré-gravadas que podem ser atualizadas de forma a fornecer informação atualizada. Um dos problemas deste sistema é o de não possuir nenhum mecanismo para gerir a congestão da rede. O sistema tem também a particularidade de ser muito dispendioso o que tem limitado a sua difusão.

O ETAS tem como vantagem a capacidade de poder enviar avisos para os lares da população, durante a noite e madrugada.

2.4.11. Paging

Os serviços de *paging* são baseados numa tecnologia de difusão. Os equipamentos com capacidades alfa-numéricas são de baixo custo, são fiáveis, fáceis de utilizar e ter a particularidade de consumirem pouquíssima energia. As funcionalidades de *paging* podem ser embebidas em diversos tipos de terminais (e.g., painéis nas autoestradas ou quadros de aviso em centros comerciais, paragens de autocarro e estações de comboio, etc.).

Os equipamentos de *paging* podem ser programados para receber avisos locais ou nacionais. As mensagens podem ser enviadas às pessoas que estejam na vizinhança mais próxima da área ameaçada.

Todavia, embora existam redes de *paging* operacionais nalguns países (e.g. Estados Unidos), a sua utilização decresceu de forma tão acentuada que vários países encerraram as suas redes

(BBC, 2001). Face a esta situação não é recomendável utilizar este canal de comunicações para o aviso à população.

2.4.12. SMS

O SMS (*Short Message Service*) é um serviço que permite enviar mensagens de texto entre telemóveis.

Tem sido proposto como canal de comunicações para o aviso às populações por diversos autores (*Sillem e Wiersma, 2006; Palha Fernandes, 2008; Pau e Simonsen, 2008*). Para além disso, existem vários sistemas de aviso que utilizam SMS quer a nível nacional (Holanda, Dinamarca), estadual (Califórnia nos Estados Unidos, Austrália Ocidental na Austrália) ou local (*Huntingdonshire, Reino Unido*).

O SMS tem a vantagem de estar disponível na quase totalidade dos telemóveis e ser um serviço muito conhecido e popular. Para além disso, a taxa de penetração dos telemóveis entre a população é muito elevada e em diversos países a cobertura da rede é muito boa.

Os sistemas até agora desenvolvidos têm dificuldade em lidar de forma eficaz com a cobertura da população, uma vez que recorrem à participação voluntária da população (*Huntingdonshire, Reino Unido*) ou ao uso de uma base de dados baseada na informação de faturação dos assinantes de telemóveis. Como resultado, estes sistemas conduzem a que o aviso difundido não atinja parte da população que está efetivamente na zona de risco (i.e., as pessoas que estejam na zona de risco, mas cuja morada se localiza noutra zona) e atinja desnecessariamente parte da população que se encontra fora da zona de risco, mas cuja morada se localiza nesta zona.

2.4.13. Difusão Celular

A difusão celular permite enviar mensagens para telemóveis que se encontrem na área de cobertura de uma célula (comunicação por difusão). Para receber a mensagem de difusão celular o canal de aviso deve estar pré-sintonizado no telemóvel. Para além disso, o telemóvel deve estar ligado a uma das células para o qual a mensagem é enviada, no momento da difusão.

Este serviço possui duas vantagens: a capacidade de enviar uma única mensagem para uma população de grandes dimensões de uma forma muito eficiente; e, a capacidade de enviar mensagens para uma área geográfica específica. Em teoria, qualquer utilizador de telemóveis que esteja na zona de risco é avisado. O aviso não discrimina entre a população residente e a população em trânsito. Esta tecnologia foi testada na Holanda (Jagtman, 2011), tendo-se identificado vários obstáculos à sua utilização em larga escala: i) necessidade das redes de telemóveis serem operadas e geridas de acordo com os requisitos dos avisos de emergência; ii) implementações de telemóveis que não permitem sintonizar o canal de difusão; e, iii) elevada diversidade na forma de configurar a subscrição do canal de difusão. No caso de Portugal, os operadores abandonaram o serviço (TMN, 2009; Vodafone, 2009) o que inviabiliza a sua utilização em sistemas de aviso nacionais.

2.4.14. GPRS

O GPRS (*General Packet Radio Service*) constitui outra tecnologia que é possível utilizar nos sistemas de aviso. Esta tecnologia existente em redes 2.5G, ou seja em redes que se encontram entre a segunda e a terceira geração de telefonia móvel, permite o envio e receção de dados com débitos que podem atingir na prática os 30 a 40 kbit/s. Os dados transmitidos através do GPRS têm a vantagem de serem pagos por quantidade de tráfego transferido (blocos de 100 KB ou 1 MB) por comparação com os dados transmitidos através de chamadas telefónicas que são pagos por tempo de conexão, tornando esta tecnologia atrativa quando se transmitem dados de forma esporádica e em baixa quantidade.

Esta tecnologia foi proposta para utilização em sistemas de aviso para acidentes de viação em Itália (Masini et al., 2004). A utilidade prática do sistema proposto é questionável, uma vez que exige que os equipamentos terminais possuam sistemas de navegação integrados e que seja instalado um programa em todos eles para enviar a localização e receber os avisos.

2.4.15. MMS

Um outro serviço de mensagens que pode ser utilizado em sistemas de aviso é o MMS (*Multimedia Messaging Service*). O MMS é um serviço disponibilizado na maioria das redes de terceira geração que permite aos telemóveis enviar mensagens que incluem conteúdo

multimédia. As mensagens deixam de ser limitadas aos 160 caracteres do SMS, podendo incorporar diferentes elementos como imagens, texto, sons e filmes. O MMS é popularmente utilizado para enviar fotografias ou para receber toques de telemóveis.

As mensagens MMS enviadas são inicialmente codificadas pelo telemóvel utilizando o MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*), uma norma originalmente desenvolvida para estender as capacidades do correio eletrónico. Esta mensagem é entregue a um servidor, conhecido como MMSC (*Multimedia Messaging Service Center*). Recebida a mensagem, o MMSC determina se o equipamento recetor possui capacidades de receção de mensagens MMS. Se tal ocorrer, o conteúdo da mensagem é extraído e enviado para um servidor Web, localizado na rede do operador. Seguidamente, uma mensagem SMS com o endereço Web da mensagem MMS é enviada para o telemóvel recetor, para abrir o *browser* WAP (*Wireless Application Protocol*) e ler o conteúdo indicado no endereço Web. Caso o telemóvel recetor não possua capacidades de leitura de mensagens MMS, a mensagem é enviada para um servidor Web, localizada na Internet. Em seguida, é enviada uma mensagem SMS com o endereço Web, cujo conteúdo pode ser visualizado por um *browser* vulgar de um computador com acesso à Internet.

Esta tecnologia foi proposta para utilização em sistemas de aviso para cheias repentinas (Wei e Jingyun, 2007) e para mudanças de tempo (Jones e Nguyen, 2005). A utilização de um sistema de aviso baseado em MMS é limitada pela existência de uma fração não desprezável da população com telemóveis sem capacidades de leitura de mensagens MMS, exigindo que tenham acesso à Internet e acedam à mensagem através de um computador. Outra limitação decorre da maior carga que um sistema destes impõe à rede dos operadores, levando-o facilmente a situações de congestão.

2.4.16. IMS

O IMS (*IP Multimedia System*) é uma arquitetura para redes de telemóveis vocacionada para o fornecimento de serviços multimédia. De forma a facilitar a sua integração com a Internet, o IMS utiliza sempre que possível protocolos desenvolvidos originalmente para a Internet. Um dos novos serviços suportados pelo IMS é o das mensagens instantâneas. Este serviço tem a particularidade de garantir a entrega em tempo real de mensagens multimédia e possui a capacidade de as enviar a um grande número de telemóveis em simultâneo.

A sua maior limitação é o de ser uma tecnologia cuja difusão se iniciou recentemente, existindo um número muito reduzido de telemóveis que a suportam.

Em Portugal, baseado nas indicações dadas pelos operadores, prevê-se a sua gradual implantação nos próximos anos. Caso tais previsões se concretizem, será no futuro uma tecnologia com grande potencial para sistemas de aviso.

2.4.17. RSS

Outra tecnologia recente, proposta para ser utilizada em sistemas de avisos é o RSS (*Really Simple Syndication*). O RSS é um formato de dados utilizado para divulgar mudanças de conteúdo. É popularmente utilizado para receber indicações de alterações em sítios noticiosos ou *blogs*. Um documento RSS (conhecido como *feed*) descreve informações como um resumo do texto (ou a totalidade do texto), a autoria e a data de publicação. Um *feed* permite que um leitor de um sítio possa acompanhar os novos artigos sem que precise de visitar o próprio sítio. Deste modo, sempre que um novo conteúdo é publicado, o assinante do *feed* pode lê-lo no seu agregador.

Esta tecnologia foi proposta por Raivio e Addams-Moring (2006), embora não se conheçam sistemas de aviso que o tenham utilizado. Dadas as características da tecnologia proposta, a sua utilização em sistemas de aviso aparenta apenas ser exequível em ambientes fechados em que a população disponha de acesso muito frequente a computadores (e.g. locais de trabalho).

2.4.18. Televisão Móvel

O serviço de televisão móvel (*Digital Video Broadcast - Handhelds* – DVB-H) permite a recepção de emissões televisivas através de telemóveis. O serviço deve ser subscrito, mas tem a capacidade de atingir uma grande audiência num espaço de tempo relativamente curto com instruções detalhadas em diversas línguas.

O DVB-H utiliza a infraestrutura das redes telefónicas públicas e não possui riscos de congestão. Apresenta atualmente a grande desvantagem de ter um número muito reduzido de subscritores o que limita na prática a sua utilização.

2.4.19. Conclusões

Qualquer canal de comunicação de um sistema de aviso quando utilizado individualmente possui limitações relativamente ao envio do aviso à população. Existem diversos canais de comunicação que não se mostram sequer apropriados. Alguns dos canais, como o *paging*, deixaram de ser populares. Outros, como a televisão móvel, não possuem utilizadores que justifiquem o desenvolvimento de um sistema. Outros, como o IMS, apesar de promissores, estão ainda em desenvolvimento.

Para ultrapassar estas limitações propõe-se que o sistema de aviso utilize vários canais de comunicação, isto é que seja um sistema de aviso multicanal. No âmbito desta tese seleccionaram-se dois canais: o SMS e a televisão. Quando utilizados conjuntamente têm a vantagem de serem utilizados de forma distinta pela população: o SMS é mais popular entre a população mais jovem e a televisão é mais popular nas faixas etárias mais elevadas.

3. SMS – Serviço de Mensagens Curtas

3.1. Introdução

O SMS (*Short Message Service*), também conhecido como Serviço de Mensagens Curtas, é um serviço de telecomunicações que permite a troca de mensagens de pequena dimensão (mensagens de texto) entre telemóveis.

O SMS é um serviço disponível na generalidade das redes de telemóveis. Atualmente, é uma tecnologia madura suportada por todos os telemóveis existentes no mundo (Le Bodic, 2005).

Neste capítulo, descrevem-se as tecnologias que suportam a transmissão de mensagens de texto nas redes de telemóveis. Opta-se por descrever o funcionamento do SMS tendo como perspetiva a sua utilização como canal de comunicação para o aviso à população na eventualidade de um desastre.

O capítulo inicia-se com uma panorâmica dos acontecimentos e motivações que estão na origem de algumas características históricas do SMS, como a dimensão máxima da mensagem. Em seguida, é feita uma descrição das atividades de normalização e das normas que estão na base de características mais recentes do SMS relevantes para o envio de avisos, como o envio de mensagens para o ecrã. Nas secções subsequentes, apresenta-se uma visão da arquitetura do SMS e das características técnicas, tendo em conta o modo como este serviço é implementado pelos operadores de rede.

3.2. Génese do SMS

A inovação central do SMS, a troca de mensagens entre equipamentos de telecomunicações, começou a ser discutida no início da década de 80. Os primeiros esforços, que deram posteriormente origem ao serviço, surgiram no trabalho conjunto dos operadores públicos da França e Alemanha Ocidental (Hillebrand, 2010).

Em meados de 1984, estes operadores tomaram a decisão de iniciar o programa de cooperação DF900 com o objetivo de trabalhar conjuntamente na preparação das contribuições para o novo sistema telefónico móvel comum a nível europeu, posteriormente designado por GSM (*Global System for Mobile Communications*). Numa das reuniões do projeto, em outubro de 1984, a França propôs a inclusão de um serviço que permitisse a receção de mensagens (*paging*) com capacidade de confirmação da sua entrega. Mais tarde, a pedido da Alemanha

Ocidental, a proposta foi modificada para incluir um serviço de transmissão (envio e receção) de mensagens (Fig. 4).

a message transmission

- provision of ~~an enhanced "paging" service~~, i.e. diffusion of alphanumeric messages to mobile users with acknowledgement capabilities (i.e. assuming duplex transmission).

Fig. 4 - Requisito original para a existência do SMS como parte do GSM

Esta proposta foi seguidamente apresentada no âmbito da normalização do sistema GSM. O grupo de trabalho GSM tinha como objetivo o desenvolvimento de um sistema otimizado para o funcionamento de um serviço telefónico móvel de mais baixo custo que a concorrência da época, os sistemas telefónicos móveis analógicos de primeira geração (NMT900 na Escandinávia, Holanda e Suíça; TACS no Reino Unido, Itália, Espanha e Áustria; C-450 na Alemanha Ocidental, Áustria e Portugal; e, RTMS na Itália). Embora houvesse interesse na inclusão de um serviço de transmissão de mensagens, não existiam certezas sobre o nível de procura do serviço. Devido a esta situação, o grupo GSM considerou não ser possível justificar investimentos significativos para o serviço de transmissão de mensagens.

Em resultado destas considerações, optou-se por utilizar os canais de sinalização (canais utilizados para o estabelecimento de chamadas telefónicas) para transmitir as mensagens e por não dividir uma mensagem longa numa sequência de mensagens segmentadas. Estas opções conduziram a que o comprimento máximo da mensagem fosse de 140 bytes, permitindo que se transmitisse no máximo 160 caracteres, utilizando 7 bits por carater (Hillebrand, 2010)

Para o conjunto de caracteres, a escolha recaiu no alfabeto definido pelo grupo de trabalho ERMES (*European Radio Messaging System*), um sistema de *paging* em desenvolvimento na altura, atendendo ao facto de este alfabeto de 7 bits incluir os caracteres mais utilizados na Europa Ocidental.

Para suportar a transmissão de mensagens curtas, acordou-se na inclusão de um servidor dedicado que permitisse armazenar e reencaminhar mensagens curtas, uma vez que se considerou não ser prático introduzir alterações em servidores de correio eletrónico para suportar os requisitos específicos do SMS.

3.3. Normalização do SMS

A normalização das tecnologias e serviços de comunicação é uma atividade que se tem revelado fundamental para o desenvolvimento do mercado de telecomunicações. Operadores, fabricantes de equipamentos, empresas que desenvolvem aplicações, integradores de sistemas e reguladores colaboram nesta atividade com o objetivo de produzir documentos técnicos que permitam suportar o desenvolvimento de soluções comerciais. No processo de criação das normas, são selecionados os elementos mais adequados de um conjunto de tecnologias já existentes ou criadas novas tecnologias quando não existam soluções apropriadas.

O SMS é um serviço que foi objeto de inúmeras atividades de normalização. A sua normalização iniciou-se em 1984 no seio do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), uma organização europeia de normalização. Mais tarde, devido à crescente adoção a nível mundial do GSM, as atividades de normalização do SMS foram transferidas para o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), uma organização global que congrega os organismos regionais de normalização no âmbito das telecomunicações da Europa, América do Norte, Coreia, Japão e China.

O desenvolvimento de normas no 3GPP é feito atualmente por Grupos de Especificação Técnica (*Technical Specifications Group – TSG*). Em cada TSG, diversos Grupos de Trabalho (*Working Groups – WG*) são responsáveis pelos documentos técnicos de um conjunto de tópicos. Se o conjunto de tópicos for extenso, o WG pode ser dividido em Sub-Grupos de Trabalho (*Sub-Working Groups – SWG*). É o caso do grupo de trabalho dos serviços de telemóveis, o T WG2 (também conhecido por T2). O T2 foi dividido em três sub-grupos, sendo o T2 SWG3 o sub-grupo de trabalho responsável pelas normas relativas às mensagens.

Os documentos produzidos pelos sub-grupos de trabalho são conhecidos como especificações. Existem dois tipos de especificações: as Especificações Técnicas (*Technical Specifications – TS*) e os Relatórios Técnicos (*Technical Reports – TR*). As especificações técnicas definem as normas e são publicadas de forma independente pelos organismos regionais de normalização. Os relatórios técnicos são estudos de viabilidade para novos serviços que podem converter-se mais tarde em especificações técnicas (e desta forma em normas).

Para satisfazer a procura de novos serviços por parte do mercado as especificações são regularmente alteradas com novas funcionalidades. Todavia, de forma a assegurar a existência de uma plataforma estável para implementações e simultaneamente possibilitar a adição de novas funcionalidades, as especificações 3GPP são estruturadas em versões (*releases*): na versão mais antiga apenas são permitidas correções pontuais (versão congelada), enquanto que na versão corrente é permitida a introdução de novas funcionalidades.

A necessidade de um desenvolvimento contínuo das especificações foi reconhecida desde o início da conceção do GSM, tendo levado a um processo de definição em duas fases: a *Phase 1* e a *Phase 2*. As especificações definidas na *GSM Phase 1* incluíram apenas os serviços que permitiam a implementação rápida de uma rede comercialmente competitiva com as redes analógicas existentes: chamadas telefónicas básicas, chamadas de emergência, SMS, serviço de dados a 9600 bit/s, autenticação e confidencialidade, bem como encaminhamento e barramento de chamadas. Posteriormente, na *GSM Phase 2* foram incluídos serviços como a identificação do número chamador, chamada em espera, audioconferência, *fax* e um codec de voz de melhor qualidade.

Às versões iniciais do GSM sucederam-se novas versões cujo nome corresponde ao ano em que o processo se iniciou (*Release 96*, *Release 97*, etc.). A partir de 1999, após se terem especificado as normas UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) mudaram-se os nomes das versões: as versões deixaram de incluir o ano e passaram a utilizar apenas um número sequencial (a *Release 5* segue-se à *Release 4* que foi posterior à *Release 99*).

Tabela 2 - Versões do GSM/UMTS

Versão	Ano	Funcionalidades Relevantes Adicionadas
<i>Phase 1</i>	1992	GSM (2G)
<i>Phase 2</i>	1995	EFR
<i>Release 96</i>	1997	Débito de dados a 14.4 kbit/s
<i>Release 97</i>	1998	GPRS (2.5G)
<i>Release 98</i>	1999	AMR, EDGE
<i>Release 99</i>	2000	UMTS (3G)
<i>Release 4</i>	2001	Rede de comutação baseada em IP
<i>Release 5</i>	2002	HSDPA (3.5G)
...		
<i>Release 8</i>	2008	LTE (4G)

Um documento técnico publicado pelo 3GPP é identificável através de uma referência. A referência inicia-se com o prefixo 3GPP, correspondente à organização responsável pela normalização, a que se seguem duas letras identificando o tipo de documento (TS para uma especificação e TR para um relatório). Depois do tipo de documento, é indicado o número do documento que pode ter as formas *aa.bbb* ou *aa.bb*. Ao número do documento segue-se a versão do documento no formato *Vx.y.z* (*x* representa a versão principal, *y* a versão técnica e *z* a versão editorial).

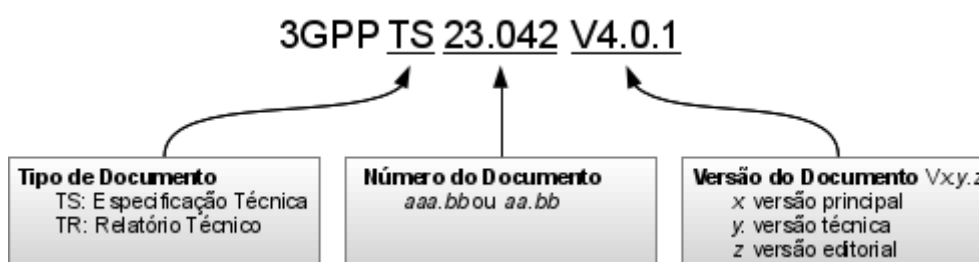


Fig. 5 - Referência de um documento técnico do 3GPP

Todos os documentos técnicos produzidos pelo 3GPP estão disponíveis no seu sítio web em 3gpp.org.

Os documentos técnicos relevantes para o desenvolvimento de soluções baseadas em SMS estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificações técnicas do SMS

Especificação	Descrição
3GPP TS 22.205	Requisitos do SMS
3GPP TS 23.011	Recursos utilizados na transferência de SMS na ligação rádio
3GPP TS 23.038	Conjuntos de caracteres utilizados no SMS
3GPP TR 23.039	Protocolos de acesso ao servidor de SMS
3GPP TS 23.040	SMS
3GPP TS 23.042	Compressão de SMS
3GPP TS 24.011	Protocolos utilizados na transferência de SMS na ligação rádio
3GPP TS 43.041	Protocolos utilizados na transferência de SMS entre o servidor de SMS e a central telefónica móvel

3.4. Arquitetura do SMS numa rede GSM

3.4.1. Componentes

Desde que foi introduzido nas redes GSM, o SMS foi portado para diversas outras redes telefónicas. Atualmente, este serviço é suportado nas redes fixas, redes de satélite e todas as redes móveis.

Em Portugal, como consequência do operador público ter subscrito o Memorando de Entendimento, comprometendo-se a implementar o GSM em 1991 (CEPT, 1987), as redes móveis existentes são baseadas nesta norma ou em normas resultantes da evolução do GSM. Por este motivo, será unicamente descrita a arquitetura do SMS na rede GSM.

Uma rede GSM é composta por três subsistemas: o terminal móvel (*Mobile Station – MS*), a rede rádio (*Base Station Subsystem – BSS*) e a rede de comutação (*Network Subsystem – NSS*). O suporte de SMS numa rede GSM exige a inclusão de dois elementos adicionais: o cliente de SMS (*Short Message Entity – SME*) e o servidor de SMS (*SMS Centre – SMSC*).

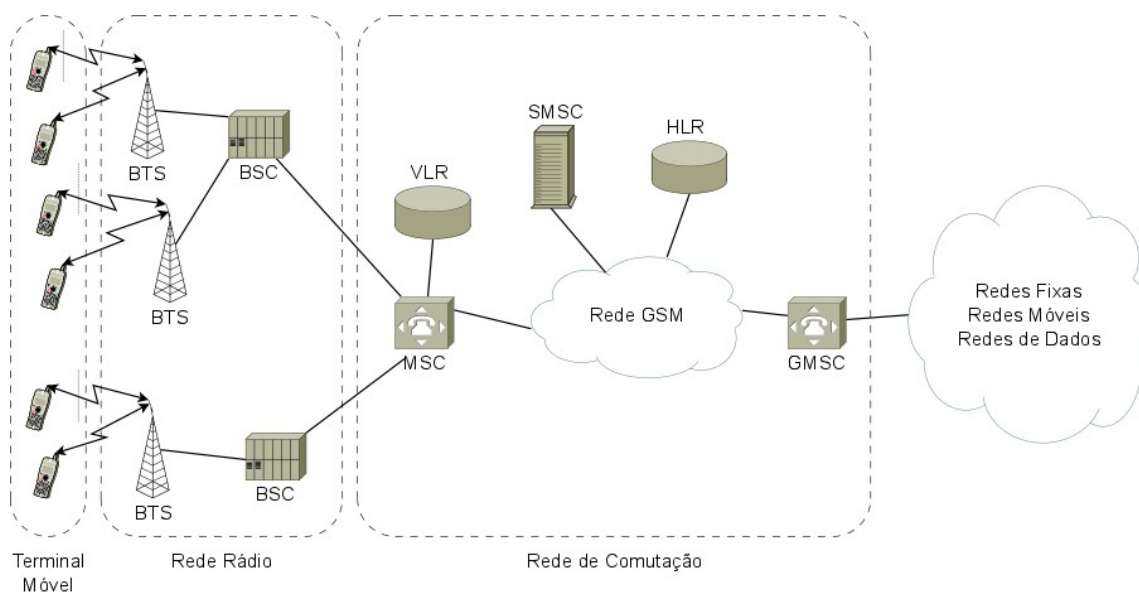


Fig. 6 - Rede GSM

O terminal móvel (MS) constitui a interface do utilizador com a rede. Os dois componentes do terminal móvel são o equipamento móvel (*Mobile Equipment – ME*) e o cartão SIM (*Subscriber Identity Module – SIM*).

A rede rádio (BSS) é o subsistema responsável pela gestão da ligação rádio. É composta pela estação base (*Base Transceiver Station – BTS*) e pelo controlador de estação base (*Base Station Controller – BSC*).

A rede de comutação (NSS) tem como principal função a gestão da comunicação entre os utilizadores GSM e destes com utilizadores de outras redes. É constituída por três componentes: a central telefónica móvel (*Mobile Switching Centre – MSC*), o registo de assinantes visitantes (*Visitor Location Register – VLR*) e o registo de assinantes locais (*Home Location Register – HLR*).

O cliente de SMS (SME) tem como função enviar ou receber mensagens curtas, enquanto que o servidor de SMS (SMSC) é responsável por encaminhar estas mensagens.

Nas subsecções seguintes, descrevem-se com maior detalhe os elementos da arquitetura do SMS.

3.4.2. Equipamento Móvel

O equipamento móvel (MS) é o equipamento utilizado pelos assinantes para aceder à rede. Corresponde tipicamente a um telemóvel ou *smartphone*. Pode, no entanto, corresponder a outros tipos de equipamentos: computadores portáteis com adaptadores GSM, *tablets*, alarmes de intrusão GSM, terminais de pagamento móveis, centrais telefónicas com interfaces GSM, máquinas de venda automática, sensores de dados equipados com módulos de transmissão móvel, etc..

As funcionalidades típicas de um telemóvel incluem comunicações por voz, mensagens e a gestão de contactos. Em contrapartida, as funcionalidades típicas de um *smartphone* incluem, para além disso, uma câmara integrada que possibilita a captura de fotografias e a gravação de vídeos, um recetor GPS que permite conhecer a localização, acesso à Internet através de um *browser* e um conjunto muito diversificado de aplicações (calculadora, alarme, agenda, jogos) disponibilizados através de uma loja de aplicações (uma plataforma de distribuição de programas).

Cada equipamento móvel é identificado por um número único de 15 dígitos designado por IMEI (*International Mobile Equipment Identity*). Este número é atribuído pelo fabricante e armazenado no próprio equipamento.

3.4.3. Cartão SIM

O cartão SIM é um cartão fornecido pelo operador ao assinante que possui capacidade de processamento e de armazenamento. Estas características permitem classificá-lo como um cartão inteligente (*SmartCard*).

Cada SIM armazena dados privados do utilizador e parâmetros do assinante como o IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), o MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN Number*), parâmetros para encriptação e o nome do operador. O IMSI é um número que identifica globalmente o assinante. O MSISDN é o número de telefone atribuído pelo operador. Um cartão SIM pode ter vários MSISDN que permitem seleccionar diferentes serviços (e.g. voz, fax ou banda larga móvel). Os dados armazenados no SIM são protegidos por um número secreto de 4 dígitos, conhecido como PIN (*Personal Identification Number*), que é solicitado sempre que o equipamento é ligado.

Quando uma mensagem é recebida pelo equipamento pode ser armazenada no SIM ou na memória do equipamento. Armazenar as mensagens no SIM permite que estas possam ser consultadas em qualquer telemóvel, bastando para tal inserir o SIM no novo telemóvel. Em contrapartida, armazenar as mensagens no telemóvel permite armazenar um maior número de mensagens atendendo à maior capacidade do telemóvel por comparação com o SIM.

3.4.4. Estação Base

A estação base (BTS) é o elemento da rede GSM que comunica com os terminais móveis que estejam localizados na sua área de cobertura. É responsável por multiplexar e assegurar a ligação rádio com o terminal móvel. As estações bases são constituídas por diversos componentes, dos quais os mais visíveis são a antena (*transceiver* – TRX) e o mastro (Fig. 7).

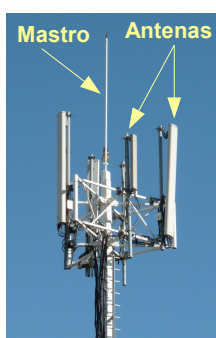


Fig. 7 - Antena e mastro de uma estação base (Campus do LNEC)

A instalação e utilização de uma estação base exige a obtenção de uma licença atribuída pelo regulador de comunicações, que permite usar um conjunto de frequências.

As estações base são distribuídas geograficamente de forma a utilizar as frequências licenciadas e a garantir que em qualquer local seja possível comunicar. Numa rede GSM, a cobertura de uma área geográfica é feita recorrendo-se à sua divisão em áreas mais pequenas (células) onde se instalam emissores.

As antenas utilizadas nas células podem ser de dois tipos: omnidirecionais ou direcionais. Nas antenas omnidirecionais a radiação é distribuída uniformemente no plano horizontal, enquanto que nas antenas direcionais a radiação é concentrada numa direção bem definida. Para otimizar a cobertura de uma célula é preferível utilizar uma antena omnidirecional colocada no centro do hexágono celular que cubra todo o hexágono. No entanto, caso se pretenda otimizar a capacidade de uma célula, é preferível utilizar antenas direcionais colocadas nos cantos dos hexágonos que cubram secções do hexágono celular (célula setorizada). As antenas podem subdividir a célula em 3 ou 6 setores, embora tipicamente uma estação base com uma antena direcional cubra um setor de 120°. Neste caso, uma estação base equipada com 3 antenas pode cobrir os 3 setores (Fig. 8).

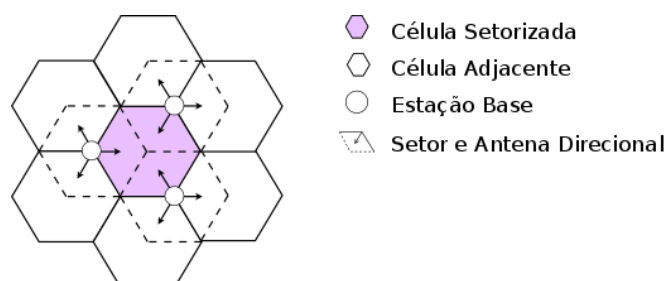


Fig. 8 - Célula setorizada

Para reduzir os problemas de interferência, são utilizadas frequências diferentes em células adjacentes. Os emissores que emitam na mesma frequência têm de estar suficientemente afastados para que a interferência permaneça abaixo de um nível aceitável. A reutilização das frequências é feita de acordo com padrões que agrupam um conjunto de células (*cluster*). Dentro de cada *cluster*, as frequências não são repetidas. A figura 9 mostra *clusters* com 4 células utilizando um padrão que permite reutilizar as mesmas 12 frequências.

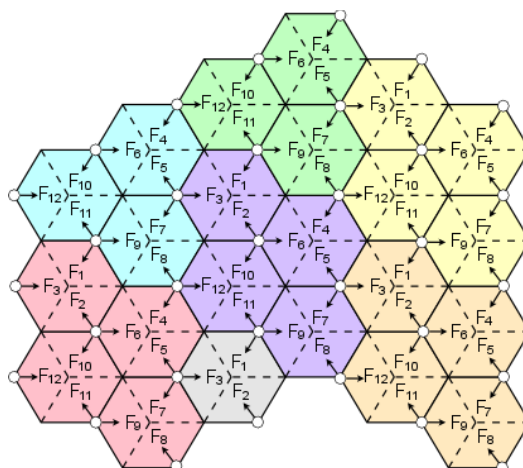


Fig. 9 - *Cluster* com 4 células

O número de células do *cluster* (fator de reutilização) é um compromisso entre as frequências atribuídas pelo regulador, a capacidade que se pretende suportar e a redução de interferência que se pretende atingir.

Podem utilizar-se células de diferente tamanho, dado que uma estação base é capaz de comunicar com um número limitado de terminais móveis. Dependendo do número de chamadas expectáveis numa área (tráfego), serão colocadas mais ou menos estações base nessa área. Em áreas com baixo nível de tráfego, recorre-se a células de grande diâmetro (grandes macrocélulas). Quando o nível de tráfego ultrapassa certos valores, as células são divididas, reduzindo-se o diâmetro da sua cobertura (pequenas macrocélulas). Se o tráfego continuar a aumentar é possível ir reduzindo o diâmetro da cobertura das células (microcélulas e picocélulas). O raio de cobertura varia entre os 100 e 200m, para as células mais pequenas e é de vários quilómetros para as células maiores.

A zona de cobertura de uma rede GSM está dividida em várias áreas que estão hierarquicamente associadas. As áreas mais pequenas são as células correspondentes à área servida por uma antena ou um setor de uma antena. A cada célula é atribuída uma

identificação da célula, CGI (*Cell Global Identity*). As células são agregadas em áreas de localização que são identificados pelo LAI (*Location Area Identity*).

A ligação sem fios entre a estação base e o telemóvel comporta dois tipos de canais de comunicação (canais lógicos): canais de tráfego (TCH – *Traffic Channels*) e canais de controle (CCH – *Control Channels*) (Fig. 10).

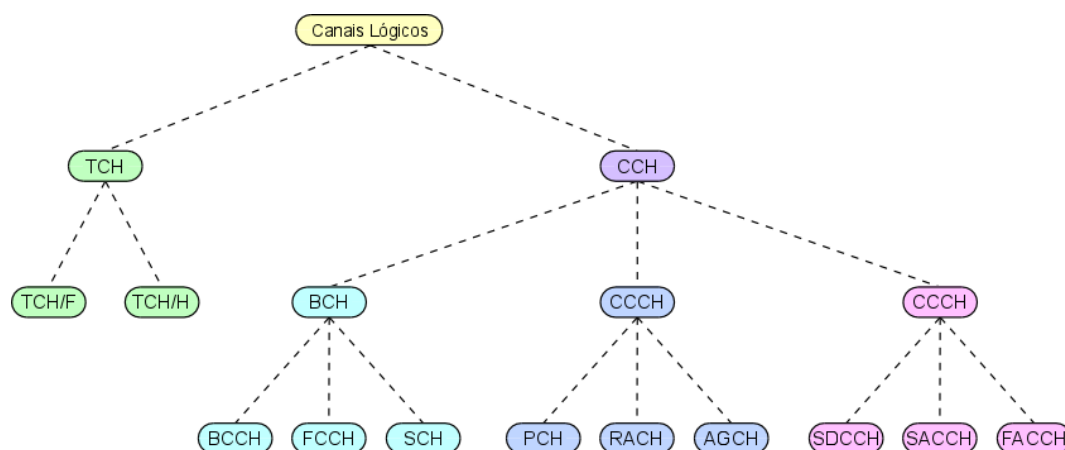


Fig. 10 - Canais lógicos

Os canais de tráfego são utilizados para o transporte de voz ou dados entre utilizadores. Existem dois subtipos de canais de tráfego: *full-rate* (TCH/F) e *half-rate* (TCH/H). Quando transmitido em *full-rate*, o tráfego é transmitido em todas as tramas. No caso de *half-rate*, o tráfego é alternadamente partilhado entre dois utilizadores: um dos utilizadores utiliza as tramas ímpares e o outro as tramas pares.

Os canais de controle são utilizados para transportar a sinalização (informação para estabelecer ou terminar uma chamada). Estes canais podem ser agrupados em três categorias: canal de difusão (*Broadcast Channel – BCH*), canal de controle comum (*Common Control Channel – CCCH*) e canal dedicado de controle (*Dedicated Control Channels – DCCH*).

Os canais de difusão são utilizados para difundir informação aos telemóveis que estejam numa célula. Existem três tipos de canais dentro desta categoria: canal de controle da difusão (*Broadcast Control Channel – BCCH*), canal de correção de frequência (*Frequency Correction Channel – FCCH*), canal de sincronização (*Synchronization Channel – SCH*).

Os canais de controle comum são canais partilhados por todos os telemóveis na zona de cobertura. São utilizados para localizar o telemóvel (*paging*) ou para atribuir um canal

dedicado de controle a um telemóvel específico. Existem três subtipos de canais de controle comum: canal de *paging* (*Paging Channel – PCH*), o canal de acesso aleatório (*Random Access Channel – RACH*) e o canal de atribuição de acesso (*Access Grant Channel – AGCH*).

Os canais dedicados de controle são canais atribuídos a um telemóvel específico por onde é transmitida a sinalização da chamada. Existem três subtipos de canais dedicados de controle: canal autónomo dedicado de controle (*Standalone Dedicated Control Channel – SDCCH*), canal de controle associado lento (*Slow Associated Control Channel – SACCH*), canal de controle associado rápido (*Fast Associated Control Channel – FACCH*).

O identificador da célula (LAI) é periodicamente difundido pela estação base no canal de controle da difusão (BCCH). Assim, cada telemóvel pode determinar a sua localização através do LAI.

Quando é estabelecida uma comunicação, o telemóvel e a estação base determinam em conjunto a potência de transmissão mínima para manter a ligação. Durante a chamada, a potência de transmissão é continuamente adaptada ao mínimo necessário à manutenção da ligação, aumentando quando se dê um aumento da distância entre o telemóvel e a estação base ou reduzindo quando se verifica a situação oposta. Este mecanismo, designado por controlo de potência, permite reduzir as interferências entre comunicações próximas e possibilita aumentar a autonomia da bateria do telemóvel.

3.4.5. Controlador de Estação Base

O controlador de estação base (BSC) controla várias estações base (Fig. 11). O BSC gere os canais de rádio, administra as frequências e ocupa-se dos *handovers* que ocorram entre as estações base que controla.

Os *handovers* são procedimentos que ocorrem quando os telemóveis que estão em comunicação transitam para uma nova célula. À medida que se movem, os telemóveis monitorizam constantemente a potência do sinal da antena com que estão a comunicar e das antenas vizinhas. Quando, durante uma comunicação, o telemóvel determina que a potência do sinal de uma célula vizinha é mais atrativa que a atual, muda para a nova célula (o *handover*). Os mecanismos de mudança entre células que sejam controladas pelo mesmo BSC são assegurados inteiramente pelo BSC.

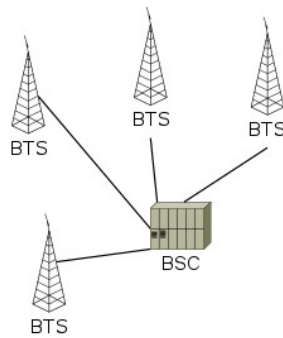


Fig. 11 - Controlador de Estação Base

O BSC permite simplificar as estações base, eliminando a necessidade de estas possuírem capacidades de processamento e armazenamento de informação. Em simultâneo, reduz o número de ligações à central de comutação móvel.

Um BSC pode estar instalado no mesmo local de uma estação base ou pode estar num local geograficamente distinto. Pode igualmente estar localizado juntamente com a central de comutação móvel.

3.4.6. Central de Comutação Móvel e Registo de Assinantes Visitantes

A central de comutação móvel (MSC) é o núcleo da rede GSM. Uma MSC gere múltiplos controladores de estação base (BSC) (Fig. 12). Desempenha as funções de uma central telefónica fixa, como sejam o estabelecimento e comutação de chamadas. Para além disso, gere os *handovers* entre os controladores de estação base da sua área de influência e coordena os *handovers* que se verificam envolvendo outra central de comutação móvel.

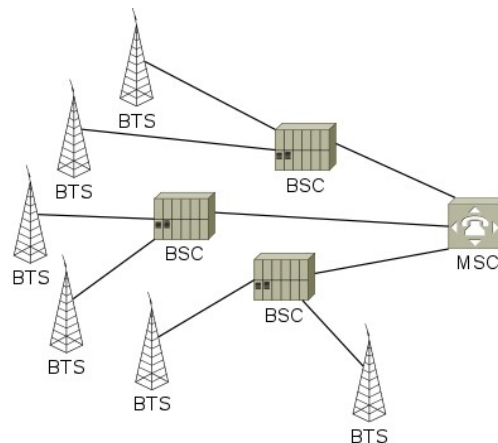


Fig. 12 - Central de Comutação Móvel

Existe uma MSC, a central de comutação móvel de interconexão (*Gateway Mobile Switching Centre – GMSC*) que possui funções mais específicas. A GMSC é responsável por interligar a rede móvel do operador com outras redes, como sejam com a rede telefónica fixa, as redes móveis de outros operadores ou a Internet (Fig. 13).

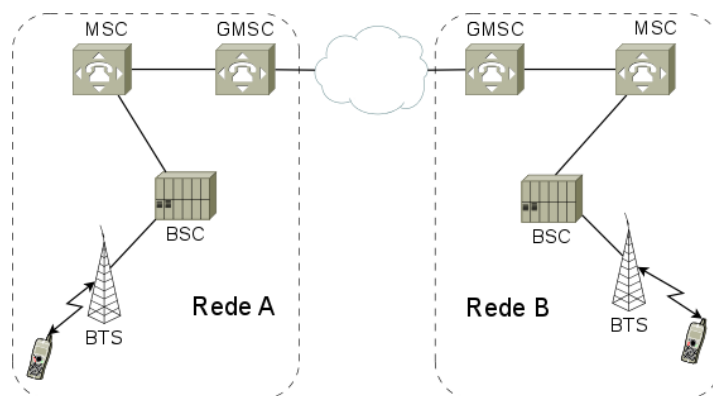


Fig. 13 - Ligação entre duas redes móveis

O registo de assinantes visitantes (VLR) é uma base de dados com informação respeitante aos terminais móveis que estejam numa área de localização. O VLR obtém informação de um novo utilizador a partir do registo de assinantes locais (HLR). Os dados mantêm-se no VLR enquanto o assinante permanecer na área de localização do VLR ou são removidos do VLR após um período longo de inatividade do terminal móvel. O VLR reduz o número de interrogações à HLR permitindo reduzir tráfego nos canais de sinalização.

Quando os telemóveis determinam que é necessário mudar para uma célula pertencente a uma área de localização diferente, desencadeiam o procedimento de atualização de localização (*location update*) que informa o novo VLR e o HLR da nova localização do telemóvel.

3.4.7. Registo de Assinantes Locais

O registo de assinantes locais (*Home Location Register – HLR*) é uma base de dados de um operador que armazena a informação relativa aos assinantes. O HLR contém a informação fixa relativa ao tipo de assinatura, números associados ao assinante (MSISDN, IMSI), serviços suplementares subscritos (correio vocal, reencaminhamento de chamadas, ...) restrições de *roaming*, bem como informação temporária relativa à localização do utilizador.

Para o SMS, os dois dados relevantes registados no HLR são a localização atual do destinatário e a informação se o telemóvel está disponível para receber mensagens.

3.4.8. Cliente de SMS

O cliente de SMS (SME) é o elemento de rede que envia ou recebe mensagens. O SME corresponde tipicamente a uma aplicação num telemóvel (Fig. 14).

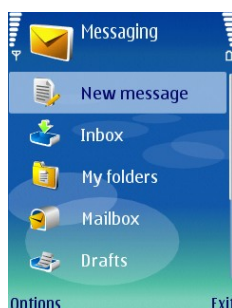


Fig. 14 - Aplicação de SMS num telemóvel

Contudo, um SME pode ser um servidor que esteja ligado ao servidor de SMS diretamente ou através de um *gateway*. Designa-se este tipo de SME como cliente externo de SMS (*External Short Messaging Entity – ESME*), de forma a distingui-lo do típico SME. Os ESME são utilizados quando é necessário enviar mensagens em massa (e.g. campanhas publicitárias) ou receber mensagens em massa (e.g. votações em programas de televisão). Uma outra utilização do ESME é a que é feita pelos operadores quando disponibilizam uma interface Web na área do assinante que permite enviar mensagens curtas.

Quando é transmitida uma mensagem, o SME que cria e envia a mensagem curta é conhecido como SME remetente, enquanto que o SME que recebe a mensagem curta é conhecido como SME destinatário.

3.4.9. Servidor de SMS

O servidor de SMS (*SMS Centre – SMSC*) desempenha um papel fundamental na arquitetura do SMS. As funções principais do servidor de SMS são a transmissão de mensagens curtas entre SME ou o seu armazenamento para posterior reencaminhamento (caso o SME destinatário esteja indisponível).

Dada a popularidade do SMS, os operadores possuem um ou vários servidores de SMS, consoante a capacidade de processamento de mensagens necessária. Tipicamente, um único servidor pode processar mais de 1000 mensagens curtas por segundo.

Para enviar uma mensagem de um telemóvel é necessário conhecer o endereço do servidor de SMS (correspondente a um número telefónico). Para evitar que os utilizadores tenham que configurar os telemóveis com esta informação, os operadores incluem no cartão SIM o contacto telefónico do servidor de SMS. Atualmente, os operadores de rede móvel possuem acordos comerciais que permitem a troca de mensagens entre redes, permitindo que uma mensagem enviada por um telemóvel da rede A possa ser entregue a um telemóvel da rede B.

3.5. Pilha de Protocolos do SMS

3.5.1. As Camadas

A pilha de protocolos de SMS é composta por quatro camadas: camada de ligação, camada de transmissão, camada de transferência e camada de aplicação.

A camada de ligação (*Short Message-Link Layer – SM-LL*) assegura a comunicação entre elementos que estejam no mesmo canal físico (e.g. ligações rádio entre o telemóvel e a estação base). Nesta camada são detetados e corrigidos erros de baixo nível que ocorram no canal físico (e.g. bits trocados).

A camada de transmissão (*Short Message-Relay Layer – SM-RL*) assegura a comunicação entre os nós de rede, independentemente do canal em que se encontrem.

A camada de transferência (*Short Message-Transfer Layer – SM-TL*), por sua vez, assegura a comunicação entre o telemóvel (SME) e o servidor de SMS (SMSC).

Por último, a camada de aplicação (*Short Message-Application Layer – SM-AL*) é responsável pelo envio e receção de mensagens.

A pilha de protocolos utilizada na comunicação de SMS é mostrada na Fig. 15.

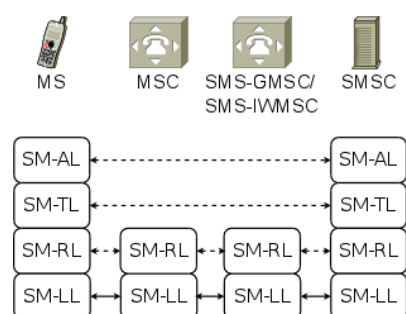


Fig. 15 - Camadas da Pilha de Protocolos do SMS

Neste capítulo, o termo mensagem refere-se ao texto composto por um utilizador, independentemente do seu tamanho. Devido a limitações existentes ao nível da camada de transferência, uma aplicação pode necessitar de dividir a mensagem em diversos pedaços que se designam por segmentos (ou segmentos de mensagens). Uma mensagem com um único segmento é conhecida como mensagem curta. Uma mensagem composta por diversos segmentos é conhecida como mensagem longa (ou mensagem concatenada).

3.5.2. Camada de Transmissão

A camada de transmissão (SM-RL) fornece um serviço de comunicações à camada de transferência (SM-TL) que possibilita que esta última se abstraia das diferenças entre canais físicos distintos (ligações rádio, ligações por cobre ou ligações por fibra).

O pacote é a unidade de dados desta camada, suportando a camada de transmissão seis tipos de pacotes:

- RP-MO-DATA enviado pelo remetente ao servidor de SMS;
- RP-MT-DATA enviado pelo servidor de SMS ao destinatário;
- RP-ACK enviado para confirmar a correta receção dos dados;
- RP-ERROR enviado para indicar a existência de um erro na comunicação de dados;
- RP-ALERT-SC enviado pelo HLR ao servidor de SMS para informar que o telemóvel já está acessível; e,
- RP-SM-MEMORY-AVAILABLE enviado pelo telemóvel ao HLR para indicar que já possui espaço de armazenamento para aceitar a receção de mais mensagens curtas.

3.5.3. Camada de Transferência

A camada de transferência (SM-TL) fornece um serviço de comunicações à camada de aplicação (SM-AL) que permite que esta última possa estabelecer e manter ligações virtuais entre o telemóvel e servidor de SMS, não tendo de se preocupar com as comunicações intermédias necessárias (e.g. central de comutação móvel e servidor de SMS).

A camada de transferência (SM-TL) suporta seis tipos de segmentos, a unidade de dados desta camada, que podem ocorrer na comunicação entre um telemóvel e um servidor de SMS:

- o SMS-SUBMIT enviado pelo remetente ao servidor de SMS;

- o SMS-SUBMIT-REPORT enviado pelo servidor de SMS ao remetente confirmando a recepção (ou não recepção) da mensagem;
- o SMS-DELIVER enviado pelo servidor de SMS ao destinatário;
- o SMS-DELIVER-REPORT enviado pelo destinatário ao servidor de SMS após recepção da mensagem;
- o SMS-COMMAND utilizado pelo remetente para solicitar a execução de um comando ao servidor de SMS (e.g. eliminação de uma mensagem anteriormente enviada, cancelamento de uma confirmação de recepção de uma mensagem); e,
- o SMS-STATUS-REPORT, que devolve o resultado ao remetente de um SMS-SUBMIT ou SMS-COMMAND anteriormente enviado.

Ao nível da camada de transferência, a troca de uma mensagem entre o remetente e o destinatário envolve os seguintes passos:

1. Após a sua criação pelo remetente, a mensagem é enviada ao SMSC. O SMSC seguidamente verifica se o remetente está autorizado a enviar mensagens.
2. O SMSC envia a mensagem ao destinatário. Se o destinatário não estiver disponível, o SMSC armazena a mensagem até que o destinatário fique disponível ou até que o período de validade da mensagem expire.
3. Depois da entrega da mensagem ou da sua eliminação, é enviada ao remetente a correspondente notificação, caso tal pedido tenha sido solicitado pelo remetente.

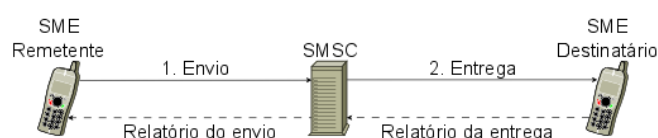


Fig. 16 - Transferência de mensagens entre dois telemóveis

Dependendo do seu tipo, o segmento é composto por um número variável de parâmetros organizado de acordo um formato pré-definido. Descrevem-se seguidamente alguns dos parâmetros relevantes para o envio de aviso à população.

O primeiro parâmetro de um segmento é o seu tipo (*TP-Message-Type-Indicator* – TP-MTI) codificado de acordo com a tabela seguinte.

Tabela 4 - Tipos de segmentos

Tipo	Direção	TP-MTI
SMS-SUBMIT	SME → SMSC	01
SMS-SUBMIT-REPORT	SMSC → SME	01
SMS-DELIVER	SMSC → SME	00
SMS-DELIVER-REPORT	SME → SMSC	00
SMS-COMMAND	SME → SMSC	10
SMS-STATUS-REPORT	SMSC → SME	10

Um parâmetro importante é o relativo aos dados do utilizador (*TP-User-Data* – TP-UD). Este parâmetro inclui a parte textual e a parte binária do segmento. Dada a sua complexidade, o parâmetro é dividido em duas partes: o cabeçalho (*TP-User-Data-Header* – TP-UDH), que contém elementos binários, e o remanescente, que contém a mensagem curta. O cabeçalho está por sua vez dividido em vários parâmetros: o primeiro indica o comprimento do cabeçalho em bytes (*TP-User-Data-Header-Length* – TP-UDHL), seguindo-se diversos outros.

A parte textual de um segmento (mensagem curta) pode ser codificada utilizando um de dois conjuntos de caracteres: GSM (3GPP 23.038) e Unicode (ISO 10646). O conjunto de caracteres utilizado por omissão, o GSM (Tabela 5), possui caracteres de 7 bits, enquanto que o Unicode utiliza caracteres de 16 bits.

Tabela 5 - Conjunto de caracteres GSM

	0x00	0x10	0x20	0x30	0x40	0x50	0x60	0x70
0x00	@	Δ	SP	0	i	P	ı	p
0x01	£	_	!	1	A	Q	a	q
0x02	\$	Φ	"	2	B	R	b	r
0x03	¥	Γ	#	3	C	S	c	s
0x04	è	Λ	α	4	D	T	d	t
0x05	é	Ω	%	5	E	U	e	u
0x06	ù	Π	&	6	F	V	f	v
0x07	ì	Ψ	'	7	G	W	g	w
0x08	ò	Σ	(8	H	X	h	x
0x09	Ç	Θ)	9	I	Y	i	y
0x0A	LF	Ξ	*	:	J	Z	j	z
0x0B	Ø	ESC	+	;	K	Ä	k	ä
0x0C	ø	Æ	,	<	L	Ö	l	ö
0x0D	CR	æ	-	=	M	Ñ	m	ñ
0x0E	Å	ß	.	>	N	Ü	n	ü
0x0F	å	É	/	?	O	§	o	à

O parâmetro *TP-Data-Coding-Scheme* (TP-DCS) indica o conjunto de caracteres utilizado para codificar a mensagem curta. A dimensão máxima da mensagem curta depende da codificação utilizada (Tabela 6).

Tabela 6 - Comprimento máximo da mensagem curta em função da codificação

Codificação	Comprimento	TP-DCS (bit 3 e 2)
GSM	160 caracteres	00
Unicode	70 caracteres	01
8-bit	140 bytes	10

Para além de ter um tipo, um segmento pode pertencer a uma dada classe. O parâmetro *TP-Data-Coding-Scheme* (TP-DCS) indica a classe a que pertence um segmento. Foram definidas quatro classes, que são descritas na Tabela 7.

Na generalidade dos casos, quando a aplicação que envia o segmento não define explicitamente a classe (*no-class*), o segmento é considerado como sendo de classe 1 ou 2 pelo telemóvel.

Tabela 7 - Classes de segmentos

Classe	Descrição	Valor
0	Ecrã	00
1	Telemóvel	01
2	SIM	10
3	Terminal	11

O remetente de uma mensagem tem a possibilidade de indicar um prazo de validade para a mensagem, definindo assim o instante a partir do qual a mensagem pode ser eliminada. Se uma mensagem não for entregue ao destinatário antes do instante indicado, em geral a rede toma a decisão de eliminar a mensagem.

Considere-se o caso de um assinante que envia a mensagem “Contacta-me na próxima hora para obter uma resposta” e que indica que o prazo de validade da mensagem é 1 hora. Nesta situação, na eventualidade do destinatário não ligar o seu telemóvel na hora que se segue ao envio da mensagem, a rede pode optar por eliminar a mensagem.

Os operadores tipicamente estabelecem um prazo de validade para as mensagens que o não especificarem.

O parâmetro *TP-Validity-Period* (TP-VP) indica o prazo de validade da mensagem. O valor de TP-VP pode assumir diferentes formas (conforme indicado pelo parâmetro *TP-Validity-Period-Format*):

- Formato Relativo – O valor indicado em TP-VP define a data de validade relativamente ao instante em que a mensagem foi recebida pelo servidor de SMS. A codificação do valor do parâmetro TP-VP é descrita na Tabela 8.
- Formato Absoluto – O valor indicado em TP-VP define a data (utilizando uma representação absoluta da data) em que o período de validade termina.

Tabela 8 - Prazo de validade (formato relativo)

TP-VP	Prazo de Validade
0-143	$TP-VP \times 5$ minutos
144-167	12 horas + $(TP-VP - 143) \times 30$ minutos
168-196	$(TP-VP - 166) \times 1$ dia
197-255	$(TP-VP - 192) \times 1$ semana

3.6. Protocolos de Acesso ao SMSC

Os protocolos de acesso ao SMSC permitem interações entre dois SMSC ou entre um ESME e um SMSC. Embora o 3GPP reconheça a existência de cinco protocolos de acesso, apenas quatro são utilizados: SMPP (da Logica), CIMD (da Nokia), UCP/EMI (da CMG) e OIS (da SEMA). O protocolo de acesso com maior difusão a nível mundial é o SMPP, sendo considerado a norma de facto (Le Bodic, 2005).

O *Short Message Peer to Peer* (SMPP) foi originalmente desenvolvida pela Logica (atualmente LogicaCMG) como um protocolo binário aberto que permitisse interações entre ESME e SMSC de diferentes fabricantes, tendo sido posteriormente adotado pelo SMS Forum, uma organização sem fins lucrativos criada para promover o uso do SMS.

Para interatuar com um SMSC através do protocolo SMPP, é necessário que um ESME estabeleça primeiro a sessão. O transporte das operações solicitadas na sessão é tipicamente feito sobre ligações TCP/IP ou X.25. No caso do TCP/IP é habitual utilizar-se a porta 2775 para este efeito.

As sessões SMPP envolvem diversas operações que podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Gestão da Sessão – estas operações permitem o estabelecimento de sessões entre um ESME e um SMSC;
- Submissão de Mensagens – estas operações permitem aos ESME enviar mensagens ao SMSC;
- Receção de Mensagens – estas operações permitem ao SMSC enviar mensagens aos ESME;
- Operações Acessórias – estas operações fornecem um conjunto de funcionalidades adicionais como o cancelamento ou a substituição de mensagens.

O SMPP é um protocolo assíncrono. Esta característica indica que o ESME pode enviar várias instruções ao SMSC sem ter que esperar pelo resultado de instruções anteriormente submetidas.

3.7. Envio de Mensagens

3.7.1. Tipos de Serviços

As especificações GSM definem dois tipos de serviços de mensagens. O primeiro, refere-se ao envio de mensagens para um grupo de telemóveis que estejam numa célula e que tenham subscrito um canal específico (difusão celular). O segundo, refere-se ao envio e receção de mensagens por telemóveis individuais (serviço de mensagens curtas ponto-a-ponto).

A operação da difusão celular tem sido descontinuada em diversos países, pela dificuldade em encontrar um modelo de negócio sustentável que permitisse comercializar o serviço. Em Portugal, a desativação dos canais lógicos em que opera o serviço de difusão celular foi sendo feita gradualmente nos últimos anos, não tendo sido tal facto divulgado oficialmente aos assinantes. Mais recentemente, em 2009, a publicação das especificações técnicas feita pelos operadores para cumprir o regulamento R&TTE (diretiva europeia que obriga à disponibilização de documentação relativa às interfaces das redes dos operadores) indica o abandono do serviço de difusão celular (TMN, 2009; Vodafone, 2009). Dada a indisponibilidade do serviço de difusão celular, apenas será abordado o serviço de mensagens curtas ponto-a-ponto.

O serviço de mensagens curtas ponto-a-ponto suporta dois serviços básicos: serviço de mensagens curtas originadas por telemóvel (*Short Message-Mobile Originated – SM-MO*) e serviço de mensagens terminadas no telemóvel (*Short Message-Mobile Terminated – SM-MT*).

No serviço de mensagens curtas originadas por telemóvel as mensagens são transferidas do telemóvel para o servidor de SMS, enquanto no serviço de mensagens terminadas no telemóvel as mensagens são transferidas do servidor de SMS para o telemóvel.

Para o envio de um aviso à população apenas é necessário utilizar o serviço de mensagens terminadas no telemóvel (SM-MT), pelo que apenas se descreverá este serviço, assumindo-se que o remetente da mensagem é um cliente externo de SMS (ESME).

3.7.2. Serviço de Mensagens Terminadas no Telemóvel

Para enviar uma mensagem o cliente externo de SMS estabelece uma sessão com o servidor de SMS e em seguida submete a mensagem ao servidor.

O servidor de SMS assegura o armazenamento e posterior reencaminhamento da mensagem, executando uma tarefa similar à desempenhada pelos servidores de correio eletrónico. Como a mensagem pode ter proveniências muito diversas, o servidor de SMS executa tipicamente operações agressivas de filtragem para eliminar a transmissão de mensagens de texto não solicitadas. Após passar por este filtro, a mensagem é convertida para o formato normalizado de uma mensagem de texto e colocada numa fila de espera para ser encaminhada para o seu destino final.

A entrega de uma mensagem de texto numa rede celular constitui uma tarefa mais difícil do que a entrega de uma mensagem de correio eletrónico na Internet. Numa rede móvel, os utilizadores têm a característica de serem móveis, não se podendo assumir que estejam no local do último contacto. Para além disso, a informação existente na rede sobre a localização do utilizador tem uma baixa precisão (i.e. a rede apenas sabe que o telemóvel está numa determinada área de localização, que pode corresponder a uma área com várias centenas de quilómetros quadrados). Deste modo, o servidor de SMS necessita de encontrar a localização do destinatário antes de executar qualquer outra operação.

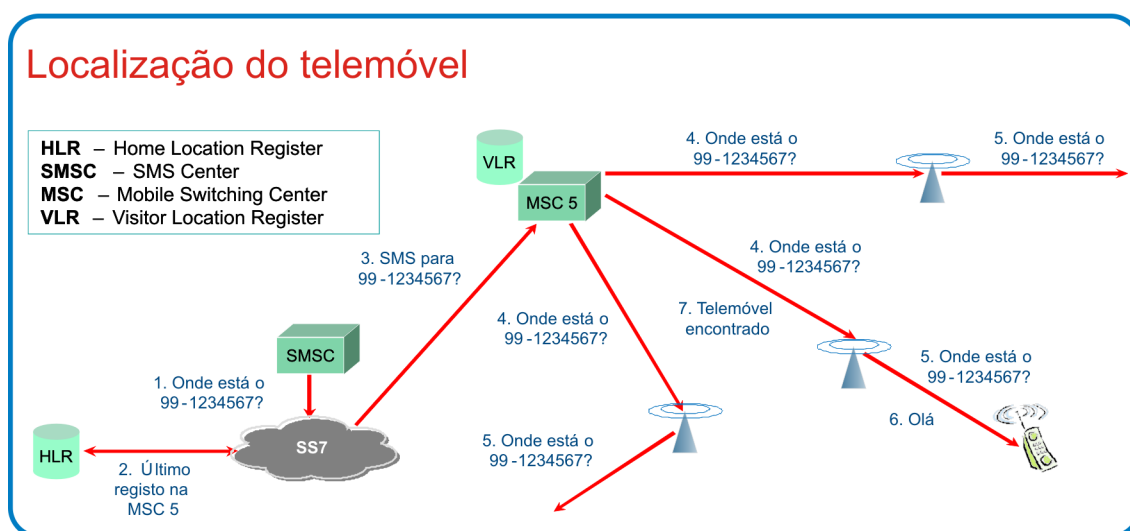


Fig. 17 - Localização do telemóvel (antes da entrega da mensagem)

O registo local de assinantes (HLR) ajuda o servidor de SMS nesta tarefa. Quando o pedido para localizar um utilizador é recebido, o HLR determina se o telemóvel está ligado. Caso o telemóvel esteja desligado, o HLR solicita ao SMSC que armazene a mensagem e tente a entrega numa outra altura. Caso contrário, o HLR fornece o endereço da central de comutação móvel (MSC) que gere o telemóvel. Após receber esta informação sobre a localização, o SMSC encaminha a mensagem para a central de comutação móvel indicada.

Para determinar se a estação base que gere o telemóvel é conhecida, a central de comutação móvel interroga o registo de assinantes visitantes (VLR). Quando o VLR não possui esta informação, o MSC inicia um processo dispendioso de localização do telemóvel. Este processo exige o envio de pedidos de *paging* para todas as estações bases geridas pelo MSC, cujo número pode atingir as várias centenas.

Após receber o pedido de *paging*, a estação base verifica se o telemóvel se encontra na sua zona de cobertura. Para alcançar este objetivo, a estação base utiliza os canais de sinalização para estabelecer uma ligação com o telemóvel. Se o telemóvel estiver ligado na zona de cobertura, responde a esta tentativa de contacto dando conta da sua disponibilidade em receber a mensagem. A entrega da mensagem é posteriormente feita através da utilização de outro canal de sinalização. Como as operações necessárias à entrega da mensagem estão limitadas aos canais de sinalização é possível executar esta operação mesmo quando os canais de voz estão ocupados.

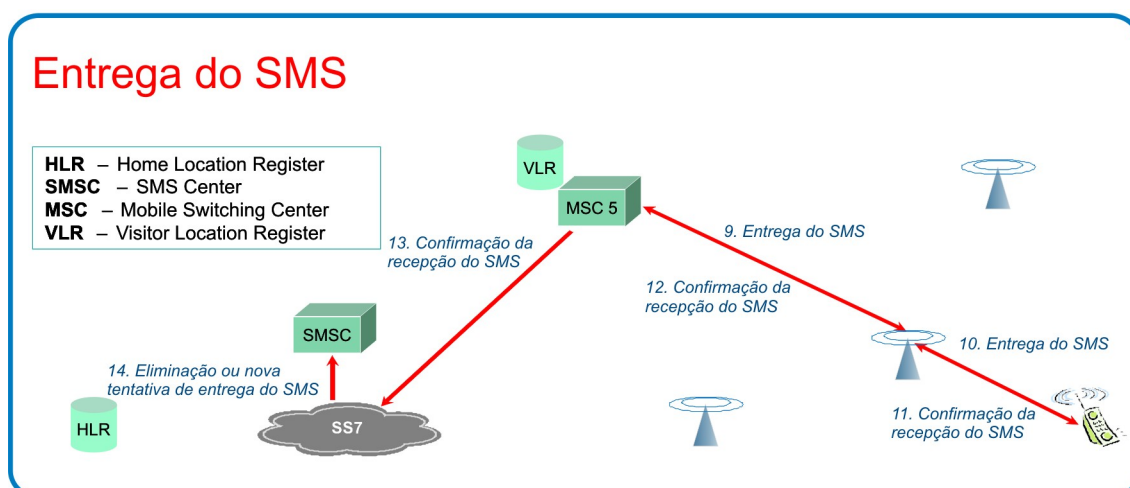


Fig. 18 - Entrega do SMS (após a localização do telemóvel do destinatário)

Uma vez concluída a entrega da mensagem pela estação base ao telemóvel, o telemóvel indica à rede se a entrega foi bem sucedida ou falhou. Esta informação é seguidamente transmitida ao SMSC. Se a entrega tiver sido bem sucedida, o SMSC elimina a mensagem de texto. Caso contrário, armazena a mensagem para, numa altura posterior, voltar a tentar a entrega. As Figuras 17 e 18 mostram de uma forma sintética todo este processo.

3.8. Conclusões

Neste capítulo, faz-se uma apresentação sumária do processo de desenvolvimento do SMS e foram descritas as características e funcionalidades desse serviço que permitem enquadrar as propostas de utilização do SMS para a sua utilização como canal de comunicação para o aviso à população na eventualidade de um desastre.

O SMS é um serviço de troca de mensagens extraordinariamente popular em todas as redes GSM. Todos os telemóveis GSM suportam a receção de mensagens curtas (Le Bodic, 2005).

O SMS define a quantidade máxima de informação que pode ser enviada numa mensagem, sendo esta a sua maior limitação. No caso mais simples, o SMS permite apenas o envio de uma mensagem com 160 caracteres (1 mensagem curta). Utilizando a possibilidade de concatenar mensagens pode-se ultrapassar este limite e enviar mensagens longas. No entanto, como existem terminais em uso que apenas são capazes de concatenar um máximo de 4 mensagens, é necessário restringir o comprimento máximo da mensagem a enviar a 640 caracteres.

A incapacidade de suportar mensagens com uma composição visualmente mais legível e envolvente (e.g, texto formatado, sons ou animações) constitui outra limitação do SMS, que impossibilita que se enviem avisos com um conteúdo mais rico.

4. Televisão

4.1. Introdução

A televisão é um sistema de transmissão de imagem e som através de uma rede de comunicações destinada à receção em simultâneo pelo público em geral.

Os primeiros televisores começaram a ser comercializados no final da década de 1920 nos Estados Unidos, Reino Unido, França, Alemanha e Rússia. Foi, no entanto, a partir de 1945, após o fim da Segunda Guerra Mundial, que os televisores passaram a ser produzidos em grande escala. Em Portugal, as primeiras emissões regulares de televisão tiveram início em 1957.



Fig. 19 - Televisor à venda em 1957

Neste capítulo, apresentam-se as tecnologias de transmissão televisivas, tendo como perspetiva a sua utilização como canal de comunicação para aviso à população.

4.2. Tecnologias de Transmissão

4.2.1. A Televisão no Mundo

Os sinais de televisão podem ser transmitidos por antenas colocadas na superfície terrestre (televisão terrestre), por satélites em órbita (televisão via satélite), através de cabo (televisão por cabo) ou através de redes IP (IPTV – *Internet Protocol Television*).

Historicamente, a televisão terrestre tem sido o modo de receção mais utilizado em todo o mundo. Em 2009, a nível mundial, 478 milhões de famílias tinham acesso à televisão terrestre através do seu televisor principal, correspondendo a 39% de todas as famílias com televisão. Todavia, este modo de receção encontra-se em declínio. Entre 2006 e 2009, a quota relativa da televisão terrestre desceu de 44%, em 2006, para 39,3%, em 2009. É de referir, no entanto,

que a televisão terrestre continua a ser o modo de receção preferido nos alojamentos secundários.

A televisão por cabo é o segundo modo de receção mais utilizado a nível mundial, sendo o modo escolhido por 440,1 milhões de famílias, correspondendo a uma quota de 36%, em 2009. Em mercados de televisão maduros, o cabo possui taxas de penetração mais elevadas do que a televisão terrestre, mas encontra-se próximo da saturação. Em 2009, na Europa, a televisão por cabo incluía 31% das famílias, tendo crescido apenas 0,9% nesse ano. Na América do Norte, o cabo constitui o modo de receção preferido das famílias (55,5%), mas já iniciou a fase de declínio.

O terceiro modo de receção de televisão mais utilizado a nível mundial é a televisão via satélite, uma solução escolhida por 22,2% das famílias com televisão em 2009. É um modo de receção que se encontra longe da saturação, existindo diversas regiões do globo (Polónia, Rússia e Nigéria) onde foram lançadas várias ofertas comerciais.

Em 2009, o IPTV foi adotado como modo de receção por 2,4% das famílias com televisão. Contudo, este modo de receção tem registado taxas de crescimentos muito elevadas, com um crescimento anual de 48% e uma quintuplicação entre 2006 e 2009. Em 2009, a Europa era a região com a taxa de penetração mais elevada (4,7%), seguida da América do Norte (4,3%) (IDATE, 2010).

Dois outros modos de receção da televisão são através da Internet (Internet TV) ou de redes móveis (televisão móvel).

4.2.2. A Televisão em Portugal

Em Portugal, a televisão terrestre é de acesso livre e pode ser captada através do sinal aberto da TDT (Televisão Digital Terrestre), um sistema de televisão baseado na norma DVB-T. A captação do serviço exige a instalação de antenas interiores, caso se disponha de uma boa cobertura, ou exteriores nos restantes casos. A TDT disponibiliza o acesso a quatro canais generalistas (RTP1, RTP2, SIC, TVI) e um canal político (Canal Parlamento). Nas Regiões Autónomas é disponibilizado o acesso a um canal adicional de âmbito regional: RTP Açores e RTP Madeira na respetiva região. A TDT é captada em Portugal por cerca de 1,5 milhões de famílias.

É possível também aceder à televisão, tipicamente por subscrição³, através de diversas outras redes de distribuição: cabo, satélite (*Direct to Home – DTH*), ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) e FTTH (*Fibre to the Home*). As ofertas de televisão por cabo e satélite são baseadas em normas especificadas por organismos de normalização europeus: DVB-C no caso do cabo e DVB-S/DVB-S2 no caso do satélite. Em contrapartida, as ofertas de televisão ADSL e FTTH, são baseadas em sistemas proprietários de IPTV (e.g. Microsoft Mediaroom no caso dos serviços Meo da PT (Swedlow, 2010) e TV Net Voz da Vodafone (Swedlow, 2011)). Na generalidades dos casos, os pacotes comercializados através da televisão por subscrição disponibilizam um número muito maior de canais que os existentes através do acesso livre. A adesão ao serviço de televisão por subscrição tem sido crescente, tendo atingido os 3,12 milhões de assinantes no fim de 2012. O cabo era responsável por 46,6% dos assinantes, seguido do IPTV com 32,2% e do satélite com 21,1%. (*Anacom, 2013b*).

4.2.3. Televisão Terrestre

A televisão terrestre é um sistema de difusão de televisão que utiliza a via hertziana ou terrestre como meio de transmissão.

A transmissão pode ser feita utilizando sinais analógicos ou sinais digitais. A televisão analógica é a designação atribuída ao processo de transmissão audiovisual através da utilização de sinais analógicos, enquanto que a televisão digital é a designação do mesmo processo de transmissão utilizando sinais digitais.

O meio aéreo tem uma capacidade que lhe permite transmitir mais do que uma emissão de televisão (multiplexagem). Para que ocorra a transmissão de diversos sinais sem que interfiram uns com os outros é necessário definir o processo de multiplexagem.

No caso das transmissões televisivas analógicas, esta é feita por divisão de frequências. Para a difusão de sinais televisivos analógicos no meio aéreo foram atribuídas diversas bandas nas faixas de frequências VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*) para se transmitirem várias emissões em simultâneo (Ver Tabela 9).

³ Em algumas situações o acesso é livre, como é o caso dos serviços de televisão prestados nos Açores e na Madeira, ao abrigo de protocolos celebrados entre os Governos Regionais e alguns operadores, que permitem a captação gratuita dos canais generalistas de âmbito nacional através da televisão por cabo em zonas onde não existe cobertura de TDT.

Tabela 9 - Frequências atribuídas à televisão analógica (Anacom, 2010a)

Faixa	Banda	Frequências	Canais
VHF	I	47-68	2-4
VHF	III	174-230	5-12
UHF	IV	470-582	21-34
UHF	V	582-862	35-69

Este planeamento de frequências resulta do acordo realizado na Conferência Regional da ITU, efetuada em 1961 em Estocolmo, conhecida como Acordo de Estocolmo. Este acordo define que as bandas de VHF (I e III) são compostas por 11 canais de 7 MHz cada e que as bandas de UHF são compostas por 49 canais de 8 MHz.

A nível mundial, existem três normas de transmissão analógicas: NTSC (*National Television Standards Committee*), desenvolvido nos Estados Unidos, PAL (*Phase Alternative Line*), desenvolvido na Alemanha, e SECAM (*Sequencial Couler à Mémoire*), desenvolvido em França. Portugal adotou a norma PAL.

No caso de transmissões digitais, contrariamente às transmissões analógicas em que em cada canal comporta apenas uma emissão televisiva, é possível transmitir várias emissões televisivas num canal. Por esse motivo, o canal é designado por *multiplex* (MUX). O multiplexador (*multiplexer*) é o equipamento que combina esses sinais, dividindo-os em pacotes para serem transmitidos (*Transport Stream Packets*). Um *multiplex* na televisão digital com uma largura de 8 MHz permite o transporte de informação com um débito de 22 Mbit/s. Tipicamente, um canal de televisão digital é transmitido com 2 Mbit/s em definição padrão e 6 Mbit/s em alta definição. Estes valores indicam que no espaço onde era possível transmitir um canal de televisão analógico é possível transmitir 10 canais de televisão digital em definição padrão ou 3 canais em alta definição. Conclui-se, que a televisão digital terrestre permite um melhor aproveitamento do espectro de frequências.

A nível mundial existem quatro normas para as transmissões televisivas digitais terrestres com predomínio em diferentes regiões: o europeu (DVB-T – *Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), o norte-americano (ATSC – *Advanced Television Systems Committee*), o japonês (ISDB-T – *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*) o chinês (DTMB – *Digital Terrestrial Media Broadcasting*) (Ver Fig. 20).

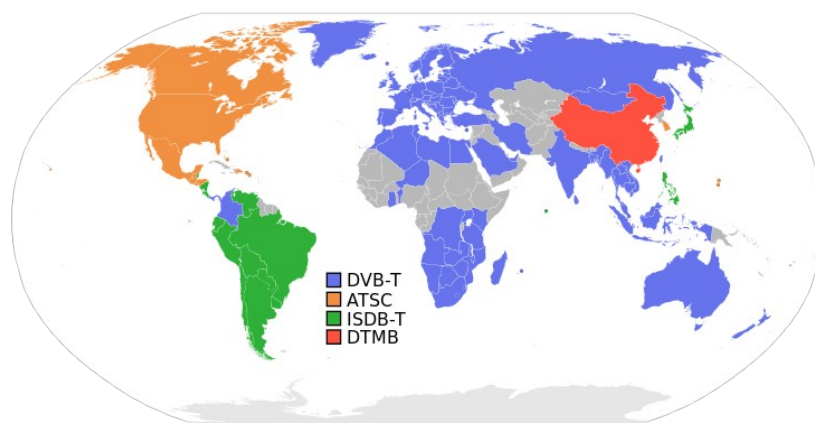


Fig. 20 - Adoção de normas de televisão digital (Wikipedia, 2012)

Na sequência do desenvolvimento destas normas, no início deste século, criaram-se as condições políticas para promover a transição analógico-digital das transmissões televisivas com o objetivo de reduzir o espectro de frequências utilizado e permitir a introdução de serviços adicionais. Neste contexto, a Comissão Europeia, em maio de 2005, adotou uma recomendação na qual fixou os objetivos da política comunitária para a transição e propôs 2012 como prazo limite para a cessação das emissões analógicas (*switch-off* analógico) em todos os Estados Membros. Em resultado desta recomendação, Portugal tomou a decisão de definir o DVB-T como a norma a adotar e 26 de abril de 2012 como a data para a cessação das emissões analógicas (Resolução do Conselho de Ministros 26/2009).

A autoridade reguladora nacional, Anacom, foi a responsável por gerir este processo de transição. Para a transmissão da televisão digital terrestre (TDT) destinou apenas frequências em UHF, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Frequências da TDT (Anacom, 2010a)

Região	Banda	Canal
Continente	750-758 Mhz	56
Madeira	734-742 Mhz	54
Açores	678-686 Mhz	47
Açores	686-694 Mhz	48
Açores	694-702 Mhz	49
Açores	742-750 Mhz	55
Açores	750-758 Mhz	56

4.2.4. Televisão por Cabo

A televisão por cabo (CATV – *Cable Television*) é um sistema de difusão de televisão que surgiu em 1946 nos Estados Unidos. Na década de 60 disseminou-se nos Estados Unidos, sendo atualmente a principal forma de acesso à televisão neste país. Mais tarde, na década de 80, chegou à Europa. Os primeiros serviços de televisão por cabo surgiram em Portugal a meio da década de 90, numa altura em que televisão analógica tinha uma elevada adesão.

Em Portugal, as redes de televisão por cabo foram inicialmente projetadas para oferecer serviços de televisão analógica tendo como alvo o mercado residencial. Evoluíram posteriormente para fornecerem acesso à Internet. Possuíam uma arquitetura condicionada pelo objetivo original de distribuição de sinais de vídeo, com a informação a circular unicamente da rede para o utilizador. Posteriormente, foi adicionada a possibilidade de haver comunicações bidirecionais, com a informação a circular do utilizador para a rede (canal de retorno), para fornecer acesso à Internet.

Na altura em que foi projetada, a tecnologia ótica não estava massificada, tornando a disponibilização de fibra ótica até às instalações do utilizador economicamente inviável. A solução de compromisso que se adotou consistiu na utilização de uma infraestrutura em fibra ótica para servir grupos de utilizadores, seguida de uma rede em cabo coaxial até às instalações do utilizador. Por esse motivo, são conhecidas por Redes Híbridas Fibra-Coaxial (*Hybrid Fiber Coaxial – HFC*), embora sejam também referidas pela designação de Redes de Cabo.

A estrutura de uma rede de cabo é em árvore, partindo de uma cabeça de rede (*head end*), inicialmente sobre fibra ótica (rede de transporte) e sobre cabo coaxial, na parte final (rede de distribuição) (Fig. 21).

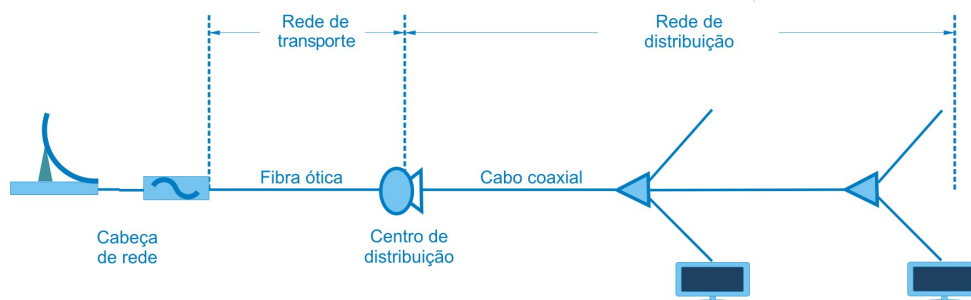


Fig. 21 - Rede de distribuição de televisão por cabo

Na rede de transporte, os sinais de vídeo são compostos na cabeça de rede através da multiplexagem por frequência dos canais de televisão. Os canais podem ter origens diversas como emissões próprias, recepção terrestre ou recepção via satélite. O sinal composto é transportado sobre fibra ótica até aos centros de distribuição, onde é transformado em sinal elétrico transmitido sobre cabo coaxial. A rede ótica pode atingir algumas centenas de quilómetros com a utilização de amplificadores óticos.

Na rede de distribuição, cada rede de cabo coaxial que sai dum nó de distribuição serve entre 200 e 1000 utilizadores. O número de utilizadores é limitado pelo ruído e distorções introduzidos nos cabos e amplificadores. Toda a estrutura da rede está preparada para transmissão analógica, possibilitando a distribuição de sinais analógicos e digitais.

A atribuição do espectro numa rede é feita de forma a permitir a distribuição de canais de rádio, canais de televisão e acesso à Internet. Os canais de rádio utilizam as frequências entre 88 e 108 MHz. Os canais de televisão fazem uso da chamada banda situada entre 111 e 860 MHz. O canal de retorno, situado entre 5 e 65 MHz, funciona como canal de comunicação entre os utilizadores e a cabeça de rede e é utilizado no acesso à Internet.

No transporte sobre cabo são utilizadas as mesmas frequências que na televisão terrestre, de modo a possibilitar a utilização dos mesmos recetores de televisão. A banda reservada para cada canal de televisão analógico é de 7 ou 8 MHz, conforme a zona do espectro. Os mesmos canais de 7 ou 8 MHz podem ser utilizados para transmitir canais de televisão digital, podendo ser transportados até 5 canais digitais com uma qualidade equivalente.

4.2.5. Televisão por Satélite

A televisão por satélite é um sistema de difusão de televisão que utiliza satélites como retransmissores do sinal. A grande vantagem do uso de um satélite como retransmissor de sinal, por comparação com um retransmissor convencional, é a sua cobertura. A altitude elevada a que se encontra um satélite possibilita que exista um número muito elevado de utilizadores que se encontram na linha de alcance da transmissão (Fig. 22).

Os satélites utilizados para transmissões televisivas estão localizados numa órbita geoestacionária, próxima do equador, a uma altitude de cerca de 36 000 km. Nesta órbita,

encontram-se aparentemente parados em relação à superfície da terra. Esta característica, permite que se utilize uma antena fixa para captar o sinal do satélite.

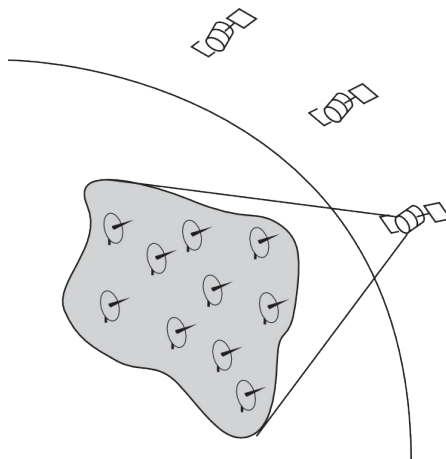


Fig. 22 - Cobertura de uma transmissão por satélite (Elbert, 2004)

Existem duas bandas de frequência principais utilizadas pelos satélites para transmitir os sinais de televisão: a Banda L e a Banda Ku (Tabela 11).

Tabela 11 - Frequências utilizadas pelos satélites

Banda	Frequências	Utilização
L	1-2 GHz	Do satélite para a antena parabólica residencial
Ku	12-18 GHz	Entre a estação terrestre e o satélite

Um sistema de televisão por satélite é composto por diversos componentes: fontes emissoras, centro de difusão, estação terrestre, satélite e posto de recepção (Fig. 23).

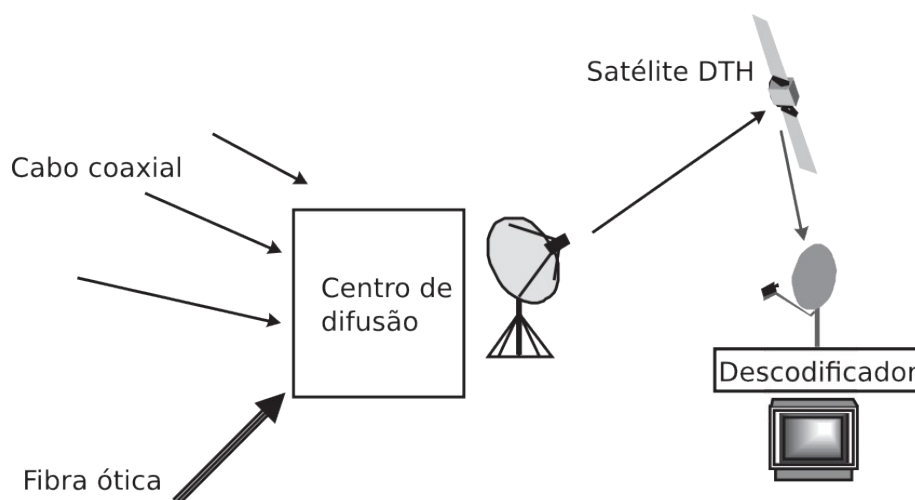


Fig. 23 - Componentes de um sistema de televisão por satélite (adaptado de Elbert(2004))

O prestador do serviço de televisão por satélite (operador) recebe no seu centro de difusão um conjunto de programas televisivos de diferentes estações emissoras, através de diversos meios de transmissão. Os diferentes conteúdos televisivos (canais de televisão) são combinados pelo operador em pacotes (e.g. diversos canais de notícias, entretenimento e desportivos) para serem subscritos pelos assinantes. Os sinais televisivos são em geral recebidos no centro de difusão por via hertziana (terrestre ou por satélite), cabo coaxial ou fibra ótica. Em seguida, os sinais recebidos são comprimidos, encriptados, codificados e transmitidos (ligação ascendente) para um satélite pelo posto terrestre de emissão. O satélite capta os sinais e retransmite-os utilizando um repetidor (*transponder*), após amplificação, em direção à Terra (ligação descendente). Do lado do subscritor uma pequena antena parabólica e um decodificador digital são utilizados para receber o sinal.

4.2.6. IPTV

A IPTV (*Internet Protocol Television*) é um sistema de difusão da televisão através de uma rede IP (*Internet Protocol*) privada.

O serviço de IPTV surgiu a partir da década de 1980, quando foi demonstrada a possibilidade de oferecer serviços de televisão através das redes IP, utilizando a tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). No entanto, o estado da tecnologia exigia que se utilizasse uma rede paralela para a transmissão da IPTV, devido ao débito de transmissão necessário.

Foi apenas com o aparecimento de melhores codificações de vídeo na década de 1990 e aumentos de velocidade no acesso à Internet na década de 2000 que foram criadas as condições para a difusão do IPTV. Em 2003, foi feito o lançamento comercial de seis serviços nos Estados Unidos. No ano seguinte, a IPTV chegou à Europa, com o lançamento de ofertas comerciais em França e Itália. Em 2005 foi a vez da China. Em Portugal, a IPTV chegou em 2006 através da Clix. No ano seguinte, em 2007, a PT lançou os serviços do MEO. Em 2009 foi a vez da Vodafone lançar o serviço de IPTV.

A IPTV diferencia-se da televisão tradicional por permitir uma maior interatividade e um controlo mais personalizado dos conteúdos inerentes à utilização de uma rede IP. A rede IP é também um meio de convergência para outros serviços, possibilitando a migração dos

serviços de voz e dados. É, por isso, frequente que os serviços de IPTV sejam comercializado num pacote de serviços designado *triple play* (agregando os serviços de vídeo, voz e dados).

As principais características do IPTV são a distribuição de conteúdos numa rede privada IP de múltiplos canais por *streaming* contínuo num formato uniformizado.

Para ser possível distribuir continuamente centenas de canais televisão aos subscritores, uma rede de distribuição de IPTV tem de ser cuidadosamente planeada e projetada. Tal só se afigura possível caso seja utilizada uma rede privada gerida pelo operador IPTV. Deste modo todo o tráfego pode ser controlado, garantindo níveis adequados de serviço.

A arquitetura de uma rede de IPTV inclui quatro subsistemas: cabeça de rede (*Headend IPTV*), rede de transporte (*Core IP/MPLS*), rede de acesso e uma rede doméstica (Fig. 24).

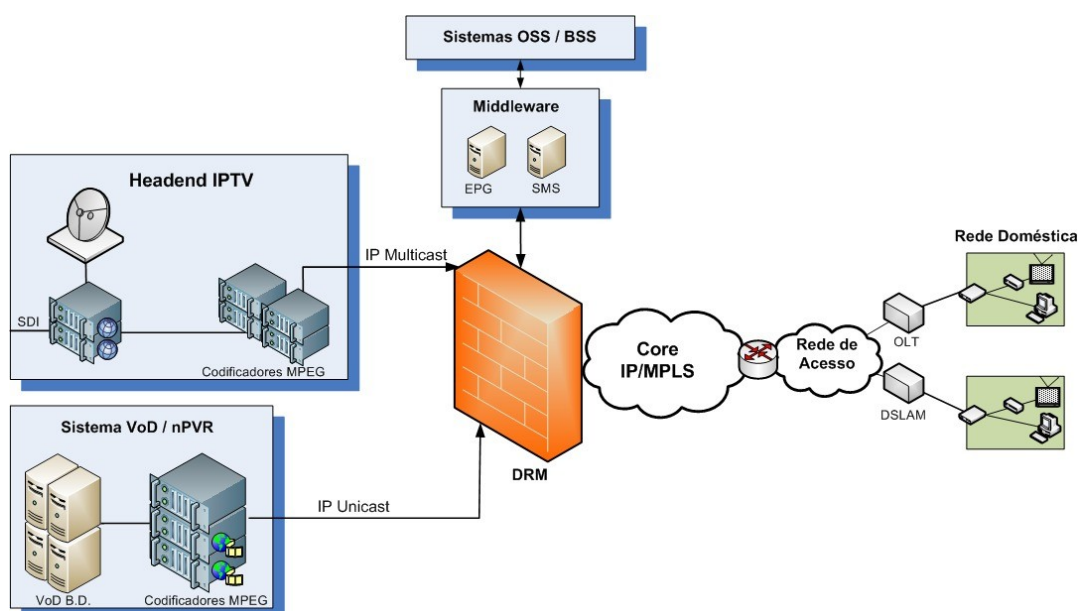


Fig. 24 - Arquitetura de uma rede IPTV (Domingues, 2009)

A cabeça de rede é responsável pela aquisição, codificação, encriptação dos sinais televisivos. Os sinais televisivos são entregues à cabeça de rede através de uma ligação por satélite ou fibra ótica. Os sinais recebidos via satélite, no caso dos canais internacionais, são desmodulados e convertidos para o formato de vídeo não comprimido. Os sinais recebidos por fibra ótica, no caso dos canais nacionais, estão no formato de vídeo não comprimido. Em seguida, todos os sinais de vídeo são comprimidos num formato específico (e.g. MPEG-2 ou MPEG-4). Posteriormente são encriptados e encapsulados em pacotes IP, para serem encaminhados para a rede de transporte.

A rede de transporte é uma rede IP privada onde é implementado um controlo de qualidade de serviço, com garantia de entrega dos pacotes IP. Os pacotes são encaminhados para as centrais locais, para serem distribuídos aos subscritores através da rede de acesso.

A rede de acesso é o troço da rede que interliga a rede doméstica à rede de transporte.

A rede doméstica localiza-se na residência do assinante. A rede doméstica é constituída por um *gateway* residencial que possui um *modem* de ligação à rede de acesso e um decodificador (*set-top box*) responsável pela decodificação dos sinais televisivos que estabelece a interface entre o utilizador e o *middleware* do serviço. A distribuição dos sinais dentro da residência do subscritor pode ser feita através de diversas tecnologias, sendo as mais habituais Ethernet, WiFi e PLC (*Power Line Communications*).

A plataforma de *middleware* é responsável por efetuar a gestão dos serviços, controlar os servidores de vídeo, condicionar o acesso dos subscritores e implementar o guia de programação eletrónico (EPG – *Electronic Programming Guide*). Possui interfaces com o sistema de suporte de operações (OSS – *Operation Support System*) e o sistema de suporte de negócios (BSS – *Business Support System*) para permitir a taxaço dos serviços consumidos. O *middleware* possui também interfaces com a cabeça de rede, o decodificador e os servidores de vídeo a pedido (VoD – *Video on Demand*) para permitir a automatizaço das operaço de ativaço e subscriço de serviços.

Existem diversas tecnologias de acesso com requisitos de largura de banda suficientes para o IPTV, sendo as mais comuns as redes DSL e FTTx.

As redes DSL são baseadas em pares de cobre entrançados e estão amplamente difundidas. São baseadas numa tecnologia com elevada popularidade junto dos operadores, devido à facilidade e ao baixo custo de instalaço de serviços de banda larga, com reaproveitamento de toda a infraestrutura de acesso utilizada pelo serviço telefónico. O DSL possui diversas variantes, com requisitos e capacidades distintas. Em todos os sistemas existe um compromisso técnico entre a distância do utilizador ao DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) e a velocidade da sua ligação. Quanto maior for a distância, menor será o débito permitido, devido à atenuaço na linha. Por outro lado, as diferentes variantes operam a diferentes frequências, o que permite uma maior ou menor distância ao DSLAM.

As redes FTTx têm sido promovidas desde a década de 1990, mas só nos últimos anos é que começaram a difundir-se. O aumento da procura de serviços de dados com requisitos elevados de largura de banda, associado à redução do preço da fibra ótica, têm motivado o interesse pelo desenvolvimento de redes de fibra ótica de larga escala, até à rede doméstica do cliente. A fibra apresenta diversas vantagens técnicas sobre as tecnologias concorrentes, nomeadamente a imunidade a ruído eletromagnético, redução de custos operacionais e maior capacidade.

4.3. Internet TV

A Internet TV consiste na transmissão da televisão através da Internet. Contrariamente à IPTV, descrita anteriormente, que é um sistema fechado análogo à televisão por cabo, a Internet TV permite transmitir televisão para todo o mundo, não estando limitada à rede de um fornecedor de serviços de telecomunicações.

A transmissão da televisão na Internet TV pode basear-se em *streaming* ou *downloading*. Os conteúdos são normalmente disponibilizados em diversos formatos e níveis de qualidade associados à taxa de compressão utilizada, sendo escolhidos pelo recetor ao estabelecer a sessão de acordo com as capacidades da sua ligação à rede. O recetor é tipicamente um computador com acesso à Internet e *software* próprio.

A Internet TV possui semelhanças com o IPTV. Podem ser utilizadas as mesmas normas de codificação de áudio e vídeo e os mesmos protocolos de rede. Todavia, o modelo de negócio adotado é distinto nas duas abordagens, o que conduz às diferenças descritas na tabela 12.

Tabela 12 - Diferenças entre Internet TV e IPTV

	Internet TV	IPTV
Garantia de QOS	Não	Sim
Natureza do conteúdo	<i>Streaming</i> discreto de conteúdos	<i>Streaming</i> contínuo de conteúdos
Seleção do conteúdo	Múltiplos <i>streams</i>	<i>Canais de televisão</i>
Formato do conteúdo	Formatos diversos	Formato único
Entrega do conteúdo	<i>Streaming, Downloading</i>	<i>Streaming</i>
Rede de Transporte	Pública	Privada
Dispositivo do Cliente	Computador	Descodificador
Acesso ao serviço	Tipicamente livre	Subscrição
Mobilidade	Elevada	Reduzida
Segurança	Conteúdo aberto	Conteúdo cifrado

Atualmente, as emissões de televisão são tipicamente visualizadas por *streaming*. Todavia, dependendo da velocidade de acesso à Internet e da rede do ISP (*Internet Service Provider*), um vídeo em *streaming* pode demorar muito tempo para ser exibido e ter pausas durante a transmissão, levando a que a Internet TV não seja percebida como próxima da qualidade das televisões convencionais.

Mesmo com as atuais limitações, existem algumas emissões de Internet TV bem sucedidas. Um exemplo é o YouTube (www.youtube.com), um sítio na Internet que permite a publicação gratuita de vídeos.

4.4. Televisão Móvel

A televisão móvel é um sistema de transmissão de televisão concebido para ser recebido em recetores portáteis, como telemóveis.

A norma adotada a nível europeu, DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handheld*), é uma extensão do DVB-T adaptada à receção por equipamentos portáteis. A tecnologia utilizada permite distribuir o sinal de forma a poupar a energia consumida pelos recetores, o que constitui uma limitação habitual destes equipamentos. A rede de transmissores tem a particularidade de ser eficiente e abranger uma grande área.

Os primeiros países que deram início a emissões regulares de DVB-H foram a Itália, Finlândia, Suíça, Áustria, Países Baixos, Vietname, Malásia, Índia, Filipinas, Albânia, Nigéria, Quênia e Namíbia.

Em Portugal, o DVB-H não se encontra disponível, embora o regulador tenha manifestado a intenção de dar início a emissões experimentais após a cessação das transmissões analógicas de televisão.

4.5. Conclusões

Em Portugal, são quatro os principais modos de receção da televisão: televisão terrestre, televisão por cabo, televisão via satélite e redes IP privadas (IPTV – *Internet Protocol Television*). A Internet TV é um modo de receção residual e a televisão móvel não existe ainda.

A televisão terrestre é o modo de recepção mais utilizado, mas encontra-se em claro declínio. A televisão por cabo é o segundo modo de recepção mais utilizado, mas encontra-se próximo da saturação. A IPTV é o modo de recepção que regista ganhos de quotas mais apreciáveis. A televisão via satélite é o quarto modo de recepção, encontrando-se numa fase de maturidade, não registado ganhos de quota significativos.

A televisão tem sido utilizada como canal de comunicação em sistemas de aviso, mas a forma típica utilizada é transmitir o aviso às emissoras. Posteriormente, os locutores retransmitem a notícia para a audiência televisiva.

A transição para a televisão digital oferece a possibilidade de se utilizar a televisão como canal de comunicação em sistemas de aviso de uma forma diferente: através do envio do aviso diretamente pelas autoridades de proteção civil, interrompendo-se automaticamente a emissão que esteja a decorrer. Esta possibilidade existe porque os decodificadores nas plataformas televisivas digitais possuem interfaces de programação. A implementação efetiva desta forma de aviso depende claramente das funcionalidades de programação existentes nas plataformas televisivas.

5. Proposta de um Sistema de Redes de Aviso

5.1. Introdução

O envio de avisos à população na eventualidade de um desastre, iminente ou provável, constitui uma das responsabilidades das autoridades de proteção civil.

A difusão do aviso é feita pelas autoridades através de redes de aviso (*Emergency Warning Networks* – EWN). Atualmente, as redes existentes dispõem de múltiplas interfaces de acesso e possuem uma arquitetura complexa. É uma situação resultante da evolução histórica das redes de aviso.

Na generalidade dos países europeus, grande parte das redes de aviso existentes resulta da conversão de redes com fins predominantemente militares. Durante a Segunda Guerra Mundial foram construídas redes de defesa civil baseadas em sirenes para avisar a população dos ataques aéreos que poderiam ocorrer. Posteriormente, durante o período da Guerra Fria, estas redes foram expandidas devido ao receio existente de ataques nucleares. Com o atenuar das tensões militares algumas redes foram abandonadas, enquanto que outras passaram a ter fins exclusivamente civis.

No caso de Portugal, as redes de aviso existentes não seguiram este percurso histórico. Durante a Segunda Guerra Mundial, Portugal manteve-se um país neutro, não tendo por esse motivo investido significativamente em redes de defesa civil. Mas tarde, não se considerou útil construir redes de aviso de ataques nucleares, devido à distância existente entre Portugal e os países pertencentes ao então Pacto de Varsóvia. Como resultado desta situação, as redes de aviso baseadas em sirenes são em número reduzido e possuem uma cobertura baixa.

Nas últimas décadas, foram propostas redes de avisos baseadas em canais de comunicação que entretanto foram surgindo. Na década de 1980, em alguns países onde se verificou uma maior difusão dos *paggers*, propuseram-se redes de aviso baseadas no serviço de radiochamadas (*paging*). Na década de 1990, como o aparecimento e vulgarização de autorrádios com capacidade de receção de dados em RDS (*Radio Data System*), construíram-se redes de aviso experimentais utilizando este canal de comunicação. Mais recentemente, face às elevadas taxas de penetração de telemóveis, foram propostas redes de aviso baseadas em canais disponibilizados pelas redes de telemóveis (Fernandes, 2008).

No entanto, por diversos motivos, algumas destas propostas foram abandonadas ou não chegaram a ser implementadas. As redes de aviso baseadas no serviço de radiochamadas deixaram de ser utilizadas quando os *paggers* deixaram de ser populares. As redes de aviso baseadas em RDS nunca chegaram a ser implementadas devido à fraca adesão por parte dos fabricantes de autorrádios às funcionalidades de receção de mensagens urgentes.

As redes de aviso existentes são o resultado desta evolução, tendo sido desenvolvidas de forma mais ou menos autónoma, o que conduziu a que estejam geograficamente dispersas e não sejam compatíveis entre si. São, muitas vezes, geridas por uma autoridade local e vocacionadas para serem utilizadas em situações de desastre específicas. Nos últimos anos, diversos projetos de investigação europeus identificaram a falta de interoperabilidade técnica e a heterogeneidade de tecnologias como sendo algumas das maiores dificuldades sentidas pelas autoridades nacionais na Europa ao nível da gestão de emergências (Win, 2004; Chorist, 2012; Orchestra, 2010).

Num cenário de desastre, esta situação leva a que as autoridades nacionais tenham dificuldade em decidir a forma de enviar o aviso, levando a que optem por enviá-lo através de redes de aviso baseadas em sirenes, mesmo quando existem melhores alternativas.

Este capítulo é dedicado à apresentação e especificação de um sistema de redes de aviso concebido para ultrapassar os problemas identificados, suportar a utilização de redes de aviso existentes e permitir a integração de novas redes de aviso baseadas em canais de comunicação recentes ou futuros.

Descreve-se a arquitetura do sistema de redes de aviso proposto, começando por identificar os requisitos de um sistema de redes de aviso. Segue-se uma descrição da arquitetura e do seus componentes fundamentais os subsistemas. Em seguida detalham-se os elementos constituintes de cada subsistema.

Nos dois capítulos seguintes são apresentadas propostas para redes de aviso integráveis no sistema de rede de aviso proposto, suportadas respetivamente no SMS e na televisão digital.

5.2. Requisitos do Sistema

O sistema de redes de aviso é o componente do sistema de aviso responsável pela disseminação do aviso. É por isso necessário que os requisitos de um sistema de redes de aviso sejam congruentes com os requisitos globais do sistema de aviso.

Como ponto de partida adotaram-se os requisitos do sistema de aviso respeitantes à disseminação do aviso consensualmente identificados na literatura (Provost, 2003; McGinley e Turk, 2004; Rogers e Tsirkunov, 2011). Para além disso, adicionaram-se requisitos relativos ao suporte de tecnologias de comunicação atuais e futuras.

Assim, foram identificados os seguintes requisitos:

- Envio em tempo útil – O aviso deve chegar aos destinatários atempadamente por forma a ser útil. A duração do envio do aviso pode ser afetada por fatores, como sejam a dimensão da mensagem de aviso, a área da zona de risco, o número de destinatários presentes na zona de risco e a prioridade que a rede possa dar à transmissão do aviso. Em situações urgentes (e.g. quando se preveja a ocorrência de um tsunami) o envio deverá ser efetuado no mais curto espaço de tempo possível (i.e. minutos ao invés de horas). Em contrapartida em situações em que o aviso contenha informações de natureza suplementar (e.g. mapas dos locais de distribuição de alimentos), poderá optar-se por enviá-lo num maior intervalo de tempo;
- Disseminação do aviso de forma localizada – O sistema deve ser capaz de disseminar o aviso à população que esteja nas zonas de risco. É no entanto necessário ter em conta que, entre enviar o aviso a quem esteja fora da zona de risco (avisos desnecessários) e falhar o envio do aviso a quem esteja na zona de risco (avisos necessários), deve sempre ser escolhida a primeira opção. A disseminação do aviso pode ser afetada pela granularidade de cobertura da rede de aviso, pelas características da zona de risco e por falhas de operacionalidade na rede de aviso. A disseminação do aviso através de uma rede que possua uma cobertura com uma granularidade grossa (i.e. com zonas de cobertura de grande dimensão) exigirá o envio do aviso para uma zona de maiores dimensões que englobe toda a zona de risco, para se garantir que o aviso a quem esteja na zona de risco. As características da zona de risco, que afetem a cobertura (e.g. a existência de ventos que alterem a propagação do sinal emitido por uma sirene) podem

limitar ou mesmo impedir a disseminação do aviso. Falhas temporárias que afetem a operacionalidade da rede de aviso podem conduzir a que existam áreas onde não seja possível disseminar o aviso (zonas de sombra);

- Resiliência – Durante um desastre (e.g. após um tsunami ou uma inundação) podem ocorrer danos ou destruições que afetem partes da infraestrutura da rede de aviso pelo que é necessário que o sistema seja resiliente. Para que o sistema continue a operar, apesar da ocorrência de danos em alguns dos seus componentes, é necessário criar mecanismos complementares que bloqueiem o efeito destes danos, como sejam a instalação de recursos adicionais (e.g. componentes redundantes), a eliminação de pontos isolados de falha (e.g. utilizando caminhos alternativos para as ligações) e utilização de bons procedimentos de manutenção (e.g. mantendo o grau de redundância após a falha de um componente);
- Suporte de múltiplos grupos de destinatários – O sistema deve possuir a capacidade de enviar avisos adaptados às necessidades específicas de diversos grupos de destinatários, como sejam pessoas com algum tipo de deficiência (e.g. invisuais ou surdos), pessoas imobilizadas (e.g. doentes em hospitais ou idosos acamados em lares) ou falantes estrangeiros (e.g. comunidades estrangeiras ou turistas);
- Garantia da autenticidade e proteção da integridade do aviso – O sistema deve possuir mecanismos que assegurem que o aviso possa ser enviado apenas por quem esteja autorizado a fazê-lo (prevenção de *spoofing*) e evitem que o aviso possa ser alterado ou forjado no decorrer da sua transmissão (proteção da integridade do conteúdo) de forma a manter a eficácia e credibilidade do sistema;
- Escalabilidade – O sistema deve possuir a capacidade de enviar o aviso aos destinatários, que podem ser em número reduzido ou muito numeroso;
- Suporte a diversos tipos de desastres – O sistema deve ser suficientemente flexível para poder ser utilizado em diversos tipos de desastres, mesmo que ocorram em locais e instantes de difícil previsibilidade (e.g. derrame de produtos tóxicos em qualquer ponto de uma rede de transportes);
- Suporte de múltiplos canais – O sistema deve suportar a utilização de forma integrada de diversos canais de comunicação possibilitando que o aviso chegue a um maior número de pessoas e permitindo simultaneamente aumentar a redundância;

- Compatibilidade – O sistema deve permitir utilizar as redes de aviso existentes;
- Capacidade para suportar novas redes de aviso – O sistema deve estar apto a suportar redes de aviso baseadas em novos canais de comunicação;
- Exequibilidade – Deve ser possível implementar o sistema com as tecnologias atualmente existentes (exequibilidade técnica). No contexto deste trabalho não se considera. É de notar que embora a exequibilidade englobe vertentes para além do técnico (viabilidade económica, aceitabilidade social, ...). No contexto deste trabalho considera-se apenas a vertente tecnológica, implicando que o sistema possa ser implementado com as tecnologias atualmente existentes.

Considera-se que a arquitetura proposta neste capítulo, complementada com as propostas de redes de aviso apresentadas nos dois capítulos seguintes, permite satisfazer os requisitos mencionados, sendo inovadora relativamente a alguns deles.

5.3. Arquitetura do Sistema de Redes de Aviso

A arquitetura proposta assenta na ideia de integrar múltiplas redes de aviso independentemente do canal de comunicação que utilizem para transmitir o aviso à população.

A integração de diversas redes por parte do sistema de redes de aviso possibilita que o envio do aviso seja efetuado através de múltiplos canais de comunicações. Esta característica assegura que um maior número de pessoas seja avisado, reforça a credibilidade da mensagem junto aos destinatários e melhora a resiliência do sistema ao permitir tolerar a falha de um canal de comunicação. Constitui igualmente uma estratégia que permite obter economias de escala e possibilita uma maior utilização das redes de aviso justificando mais facilmente o investimento e manutenção das infraestruturas do sistema.

A arquitetura do sistema de redes de aviso proposta é composta por três subsistemas (Fig. 25): o subsistema de criação e expedição de avisos, a rede de interligação e a rede de transmissão.

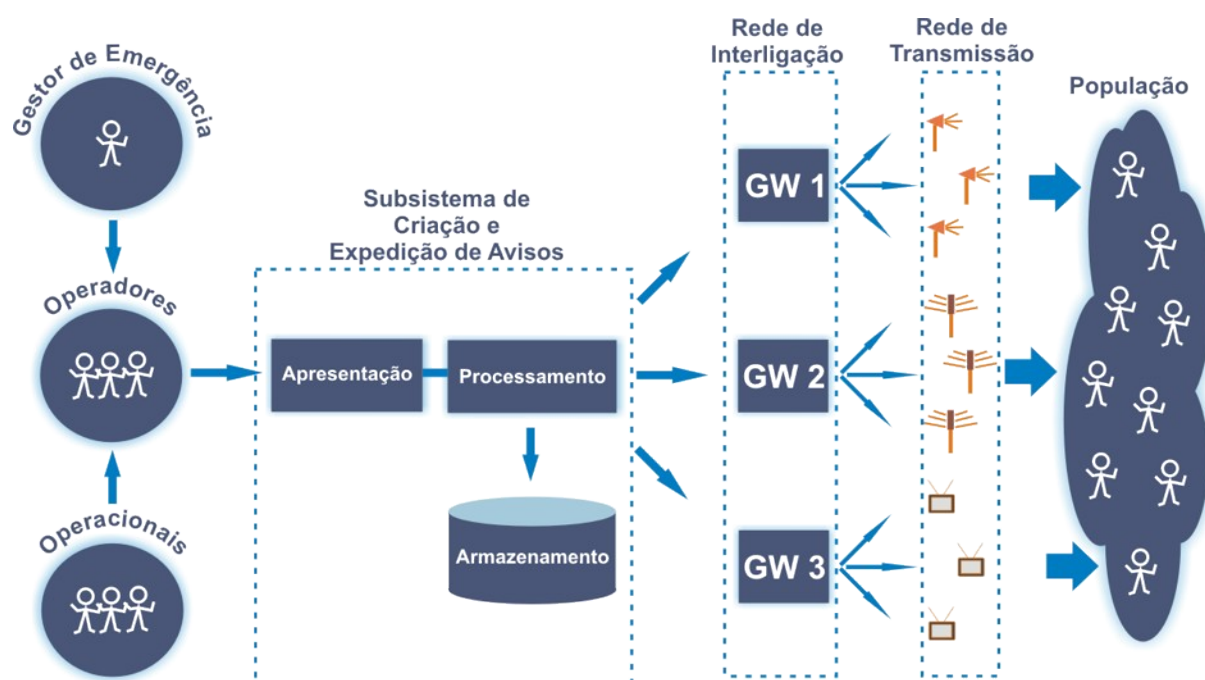


Fig. 25 - Arquitetura do Sistema de Redes de Aviso

O subsistema de criação e expedição de avisos (CEA) é responsável pelo apoio na criação de avisos e na seleção dos percursos mais adequados para transmitir o aviso aos destinatários. Possui três componentes distintos: apresentação, processamento e armazenamento.

A rede de interligação tem como principal função a interligação do subsistema de criação e expedição às redes de aviso. É constituído por diversos *gateways* (GW).

A rede de transmissão é o subsistema responsável por disseminar o aviso aos destinatários finais. É composta por diversas redes de aviso baseadas em diferentes canais de comunicação.

5.4. Subsistema de Criação e Expedição de Avisos

5.4.1. Estrutura

O subsistema de criação e expedição de avisos possui uma estrutura com três camadas correspondentes à apresentação (*presentation tier*), processamento (*logic tier*) e armazenamento (*data tier*), designada habitualmente por arquitetura de três camadas (*three-tier architecture*).

O módulo de apresentação constitui a interface do utilizador com o sistema. É responsável pelo envio de informação dos operadores para o módulo de processamento e pela receção e

apresentação da informação aos operadores. Corresponderá tipicamente a uma aplicação Web acessível através de uma rede privada ou da Internet. Poderá, no entanto, corresponder a uma aplicação num computador de secretária (*desktop*) ou a uma aplicação num *tablet* ou *smartphone*.

O módulo de processamento é responsável pela receção dos pedidos do utilizador, por processar e gerir o aviso até ao seu encaminhamento para a rede de interligação, pela interação com o módulo de armazenamento e pelo envio dos dados processados ao módulo de apresentação.

O módulo de armazenamento é responsável por armazenar, gerir e manter a integridade de toda a informação necessária ao funcionamento do subsistema de criação e expedição de avisos, como sejam os perfis dos utilizadores, os modelos pré-definidos para construção de avisos e os avisos enviados.

A estrutura em três camadas do subsistema de criação e expedição de avisos permite que qualquer uma das três camadas possa ser atualizada ou substituída por novas versões em resposta a mudanças de requisitos ou de tecnologia. Por exemplo, uma mudança do sistema operativo da plataforma da camada de apresentação apenas afetaria o código da interface de utilizador.

5.4.2. Funções

A utilização do subsistema de criação e expedição de avisos inicia-se após a tomada de decisão de envio de avisos à população, por parte das autoridades de proteção civil. A decisão de envio do aviso ocorre depois as autoridades de proteção civil receberem informações sobre a previsível ocorrência de um desastre, tipicamente de uma organização científica responsável pela monitorização de um risco, e após essas informações serem interpretadas em termos de danos potenciais e a avaliação do risco justificar o envio do aviso à população.

O subsistema de criação e expedição de avisos é o responsável pelas operações que apoiam os utilizadores, os operadores do sistema, na criação dos avisos bem como nas operações de encaminhamento do aviso para a rede a jusante, a rede de interligação.

As funções de apoio aos operadores envolvem três etapas: avaliação, criação de avisos e expedição.

Na etapa de avaliação, os operadores avaliam a informação disponível e propõem os canais mais adequados para avisar a população. A sua avaliação será feita com base na informação disponibilizada pela organização responsável por monitorizar o risco, bem como em informações complementares obtidas através de outros meios (chamadas telefónicas, mensagens de correio eletrónico, relatórios dos agentes no terreno, etc.). Baseado nas avaliações dos operadores, o gestor de emergência decide os canais que serão utilizados para disseminar o aviso, os instantes temporais do aviso (início e fim do aviso) e o número de vezes que aviso deverá ser repetido.

Segue-se a etapa de criação do aviso, onde os operadores com responsabilidade por essa atividade darão início à criação do aviso.

Esta etapa, para cada canal de comunicação selecionado pelo gestor de emergência, poderá envolver uma ou mais das seguintes tarefas:

- escolher um aviso que tenha sido previamente definido para ser enviado à população;
- escrever (no caso de texto) ou gravar (no caso de áudio ou vídeo) um aviso específico que será seguidamente aprovado pelo gestor de emergências;
- definir atributos específicos ao canal de comunicação (e.g. no caso do SMS enviar para o gateway a zona de risco, o tempo de início e fim da difusão do aviso, o número de repetições, etc.).

Para além disso, caso seja considerado desejável, será necessário traduzir o aviso para diversas línguas.

A interface de utilizador da criação do aviso deverá incluir as seguintes ferramentas:

- criação e edição de avisos novos;
- visualização e edição de avisos pré-definidos;
- seleção das zonas de disseminação do aviso. Esta informação será numa fase posterior encaminhada para os *gateways* que a utilizarão para determinar as infraestruturas de rede que disseminarão o aviso;
- visualização dos avisos que serão enviados;
- listagem dos avisos previamente enviados;

- modificação de avisos;
- reenvio de avisos;
- interrupção do envio de avisos;
- eliminação de avisos.

Finalmente, segue-se a etapa de expedição, onde o aviso é encaminhado para os gateways das redes de aviso previamente selecionadas.

5.5. Rede de Interligação

5.5.1. Gateways

A rede de interligação tem como principal função interligar o subsistema de criação e expedição de avisos à rede de transmissão. É constituída por um conjunto de *gateways* de comunicações que possuem ligações a diferentes redes de aviso.

Os *gateways* poderão corresponder a um de três tipos:

- *Gateways* de difusão para canais como a televisão ou rádio;
- *Gateways* de *multicasting* para canais como as mensagens instantâneas;
- *Gateways* de *unicasting* para canais como o SMS ou as sirenes.

Os *gateways* de comunicações deverão executar diferentes ações consoante o tipo de rede de aviso a que se liguem. Exemplifica-se seguidamente as ações que deverão ser tomadas pelos *gateways* de três canais de comunicação: sirenes, SMS e televisão.

O *gateway* de sirenes deverá, com base na informação enviada pelo subsistema de criação e expedição de avisos, selecionar as sirenes a utilizar e o toque a difundir. Deverá possuir, para além disso, a capacidade de definir a periodicidade dos toques e os intervalos entre os avisos. Como algumas sirenes podem reproduzir mensagens de áudio, o *gateway* deverá ser capaz de enviar ficheiros de áudio para as sirenes com esta funcionalidade.

O *gateway* de SMS deverá selecionar para cada operador móvel, com base nas zonas de risco indicado pelo subsistema de criação e expedição de avisos, as estações-base que serão utilizadas. A periodicidade e o intervalo de envio dos avisos deverá também ser estabelecida pelo *gateway* de SMS. Atendendo à necessidade de se enviarem avisos noutras línguas, para

além do português, o *gateway* deverá possuir a capacidade de identificar os telemóveis para os quais será enviado o aviso nas línguas escolhidas.

O *gateway* de televisão deverá ser capaz de enviar um ficheiro de vídeo correspondente ao aviso enviado. Este ficheiro deverá ser enviado para os operadores ou emissoras que cubram a região do aviso. Tal como no caso dos *gateways* anteriores deverá ser possível definir a periodicidade a que o aviso deve ocorrer.

5.5.2. Comandos do Gateway

Cada *gateway* deverá ser configurado e ligado ao subsistema de criação e expedição de avisos. Em alguns casos essa tarefa é simples, noutras casos poderá envolver o desenvolvimento de aplicações do lado do *gateway*.

Cada *gateway* deverá ser capaz de suportar os seguintes comandos:

- CAPABILITY – permite que se identifiquem as capacidades suportadas pelo *gateway*. Com base na resposta dada, o subsistema de criação e expedição de avisos enviará os avisos num dos formatos indicados.
- CREATE_EW – aceita um aviso para ser encaminhado para o canal a que o *gateway* se encontra ligado. Deverá ser enviada uma confirmação da execução deste comando indicando a existência de algum erro ou o sucesso da operação.
- UPDATE_EW – aceita um pedido de atualização de um aviso anteriormente enviado. Como no anterior comando a alteração do aviso poderá dar-se imediatamente ou algum tempo depois, dependendo esta opção das instruções enviadas.
- DELETE_EW – aceita um pedido para que um aviso anteriormente enviado seja eliminado. Dependendo dos parâmetros enviados a transmissão do aviso poderá parar imediatamente ou num instante posterior.
- DELETE_ALL_EW – aceita um pedido para que todos os avisos deixem de ser transmitidos.

O formato XML que se propõe seguidamente que seja utilizado pelos comandos do *gateway* foi influenciado por muito do trabalho na área da emergência desenvolvido pela OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards*), um consórcio global responsável pelo desenvolvimento de diversas normas XML.

Todos os comandos do *gateway* deverão incluir os seguintes *tags* XML:

- `warningID` (string)
- `sender` (string)
- `dateTimeSent` (dateTime)
- `language` (string)

Os *tags* XML indicados são autoexplicativos, sendo o seguinte exemplo ilustrativo da sua utilização:

```
<warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/47</warningID>
<sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
<dateTimeSent>2012-11-01T080100Z</dateTimeSent>
<language>pt</language>
```

O *tag* `warningID` exige a utilização de um identificador único que permita identificar a mensagem enviada.

Para o *tag* `sender` recomenda-se a utilização do endereço de correio eletrónico do gestor da emergência.

O *tag* `dateTimeSent` indica a data e hora a que a mensagem XML foi enviada. O formato utilizado é o tipicamente utilizado em XML. Por exemplo, 1 de novembro de 2012 às 8:01 em Lisboa é representado por 2012-11-01T08:01:00Z. Este formato é baseado na norma ISO 8601 que obedece à forma CCYY-MM-DDThh:mm:ss[Z](+|-)hh:mm onde a zona horária como Z (no caso de corresponder à UTC) ou (+|-)hh:mm.

O *tag* `language` exige a utilização dos códigos de duas letras correspondentes à língua na norma ISO 639-1: `pt` para português e `en` para inglês são dois exemplos.

5.5.3. Comando CAPABILITY

O comando CAPABILITY permite que o *gateway* se identifique e liste as funcionalidades que suporta. A resposta do *gateway* deverá ser num formato XML pré-definido. O CEA utilizará a resposta para criar um perfil das capacidades do *gateway* e enviar avisos num dos formatos apropriados.

A resposta do *gateway* incluirá a seguinte informação:

- `ChannelType` – indica o tipo de canal (e.g., Siren, SMS, MMS, DVB-T, etc.);

- Station – indica a lista de estações emissoras. A lista de canais varia consoante o tipo de canal.
- ContentType – indica a lista de formatos suportados de acordo com o tipo MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*). O tipo MIME é composto de duas ou mais partes: um tipo e um subtipo e eventualmente alguns parâmetros opcionais. Por exemplo, o tipo `text` inclui a possibilidade de inclusão do parâmetro `charset` para indicar a codificação de caracteres utilizada (e.g. `text/html; charset=ISO-8859-1` descreve o formato HTML).
- Operation – indica a lista de operações que podem ser executadas (e.g. Display, Schedule, Cancel, Acknowledge, Repeat);
- Location – indica a lista de localizações com coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) relativas aos emissores.

5.5.4. Comando CREATE_EW

O subsistema de criação e expedição de avisos deverá enviar ao *gateway* através do comando `CREATE_EW` o aviso a ser transmitido para a rede de aviso. Baseado nas funcionalidades obtidas através do comando `CAPABILITY`, a mensagem do comando `CREATE_EW` deverá incluir instruções específicas ao canal.

Por exemplo, considere-se uma situação de desastre em que o gestor de emergência tenha selecionado como canais para o aviso as sirenes e a televisão.

No caso das sirenes poderia ser enviado o seguinte comando:

```
<command name="CREATE_EW">
  <warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/48</warningID>
  <sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
  <dateTimeSent>2012-11-01T080100Z</dateTimeSent>
  <language>pt</language>
  <startWarning>2012-11-01T090000Z</startWarning>
  <endWarning>2012-11-01T093000Z</endWarning>
  <tone type="sos_1">
  <interval on="120" off="30">
  <targetArea>...</targetArea>
</command>
```

Enquanto que no caso da televisão poderia ser enviado o seguinte comando:

```
<command name="CREATE_EW">
<warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/49<warningID>
<sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
<dateTimeSent>2012-11-01T080300Z<dateTimeSent>
<language>pt</language>
<startWarning>2012-11-01T090000Z</startWarning>
<endWarning>2012-11-01T093000Z</endWarning>
<file mime="video/mpeg2" uri="ftp://media.proteccaocivil.pt/abrantes.mpg">
<loop cicle="forever">
..<station>RTP 1</station>
</command>
```

Como estes exemplos mostram, o subsistema de criação e expedição de avisos envia informações específicas ao canal de comunicações, exigindo que exista uma aplicação no *gateway* com a capacidade de analisar e processar a informação enviada.

Uma mensagem CREATE_EW enviada para um *gateway* de sirenes deverá incluir os seguintes elementos: o toque a utilizar, selecionado de uma lista de toques possíveis, identificados anteriormente pelo comando CAPABILITY; o intervalo entre toques; o aviso áudio (quando seja possível transmitir mensagens de voz); a área de transmissão do aviso.

Para um *gateway* de SMS, a mensagem CREATE_EW deverá incluir os seguintes elementos: a mensagem de texto a enviar; o intervalo entre repetições do aviso; a área de transmissão do aviso.

No caso do *gateway* de televisão, a mensagem CREATE_EW deverá incluir os seguintes elementos: o filme a utilizar; a forma de o mostrar; a lista de emissoras que difundirão o aviso.

A zona de risco poderá ser especificada de três formas distintas: pelo nome da área geográfica, por um polígono que defina os limites da área geográfica ou através de um círculo que englobe a área geográfica (OASIS, 2006).

A especificação da zona de risco pelo nome da área geográfica recorre à utilização de um código:

```
<targetArea>
<locCodeUN>PTABT</locCodeUN>
</targetArea>
```

Neste caso, o elemento do *tag* locCodeUN é o código UN/LOCODE correspondente a Abrantes. Os códigos UN/LOCODE propostos constituem um sistema de geocodificação

desenvolvido e mantido pela UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*), uma agência das Nações Unidas, que atualmente inclui cerca de 82 000 localizações (UNECE, 2011).

É possível especificar a zona de risco indicando um polígono que a delimite. Para descrever o polígono será necessário listar as coordenadas geográficas (latitude e longitude) dos seus vértices em graus decimais devendo o primeiro e o último pontos serem coincidentes.

```
<targetArea>
  <polygon>
    39.4667,-8.1174
    39.4667,-8.0238 39.4238,-8.0238 39.4238,-8.1174
    39.4667,-8.1174
  </polygon>
</targetArea>
```

Outra opção para especificar a zona de risco poderá ser feita através da indicação de um círculo que a englobe. Para descrever o círculo deverá utilizar-se o *tag* <circle> indicando as coordenadas geográficas do centro em graus decimais e o raio em quilómetros.

```
<targetArea>
  <circle>39.4667, -8.2000 5</circle>
</targetArea>
```

5.5.5. Comando UPDATE_EW

O comando UPDATE_EW permite atualizar um aviso anteriormente enviado. A mensagem do comando deverá incluir uma forma de identificar o aviso a atualizar, permitindo que o *gateway* possa executar a tarefa de atualizar o aviso.

```
<command name="UPDATE_EW">
  <warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/50</warningID>
  <sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
  <dateTimeSent>2012-11-01T08300Z</dateTimeSent>
  <language>pt</language>
  <startWarning>2012-11-01T091500Z</startWarning>
  <endWarning>2012-11-01T093000Z</endWarning>
  <file mime="audio/mp3" uri="ftp://media.proteccaocivil.pt/abrantes.mp3">
  ...
</command>
```

Nalguns casos, como no caso do SMS, a atualização do aviso exige que se envie um novo aviso. Para outros canais, como no caso das sirenes que suportem a difusão de mensagens de

voz, poderá apenas significar a substituição do anterior ficheiro. Em qualquer dos casos estas tarefas são da responsabilidade dos *gateways*.

5.5.6. Comando DELETE_EW

O comando DELETE_EW permite eliminar avisos anteriormente enviados. No seguinte exemplo a transmissão do aviso deixa de ser efetuada imediatamente após a receção do comando:

```
<command name="DELETE_EW">
  <warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/48<warningID>
  <sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
  <dateTimeSent>2012-11-01T09200Z<dateTimeSent>
  <language>pt</language>
</command>
```

Existe para este comando a possibilidade de se solicitar que o aviso termine num instante posterior ao envio da mensagem.

5.5.7. Comando DELETE_ALL_EW

Este comando permite parar imediatamente a disseminação de todos os avisos transmitidos. Recorre-se a este comando, quando não seja possível utilizar o comando DELETE_EW.

```
<command name="DELETE_ALL_EW">
  <warningID>http://proteccaocivil.pt/avisos/48<warningID>
  <sender>maria.silva@proteccaocivil.pt</sender>
  <dateTimeSent>2012-11-01T09250Z<dateTimeSent>
  <language>pt</language>
</command>
```

5.6. Rede de Transmissão

A rede de transmissão é constituída pelas redes de aviso suportadas pelo sistema de aviso. As redes de aviso mais comuns são baseadas em sirenes, existindo no entanto um grande número de alternativas.

No capítulo 2 descreve-se com maior detalhe os canais de comunicação atualmente mais utilizados para disseminar avisos à população.

5.7. Outras Funcionalidades

Todas as mensagens e ações efetuadas pelos operadores do subsistema de criação e expedição de avisos deverão ser registadas para efeitos de auditoria. Utilizando o ficheiro de registos deverá ser possível reconstruir que dados estavam disponíveis quando o aviso foi enviado. Esta opção permitirá que os auditores possam avaliar se as decisões tomadas durante a crise foram efetivamente as mais apropriadas. Será igualmente uma fonte de dados para futuros estudos para compreender as decisões tomadas durante uma crise.

O acesso ao sistema de redes de aviso deverá ser feito unicamente através de ligações seguras. Preconiza-se a utilização de uma VPN (*Virtual Private Network*) no caso das ligações serem exteriores às instalações físicas das autoridades de proteção civil.

A interface de acesso deverá ser multilingue, permitindo que operadores de diferentes países possam cooperar na preparação e difusão dos avisos. Recomenda-se particularmente que as interfaces estejam traduzidas para uma língua de amplo uso internacional (Inglês) e uma língua de um país vizinho (no caso de Portugal, o Espanhol).

5.8. Conclusões

O sistema de redes de aviso proposto apresentado neste capítulo tem como premissas fundamentais que o sistema de aviso à população, quando se preveja a ocorrência de um desastre, deve poder tirar partido dos vários canais de comunicações disponíveis e fazê-lo de forma integrada, rápida e eficiente.

A arquitetura sugerida separa os aspetos de preparação do aviso, em grande parte independentes dos canais de comunicação a utilizar, dos aspetos específicos de cada canal, em particular os relativos à disseminação do aviso de forma localizada. A integração no sistema de novos canais de comunicação, resultante nomeadamente de avanços tecnológicos, torna-se assim mais fácil e suscetível de ser feita de forma gradual e não disruptiva.

Tendo em conta que a criação e expedição de avisos, desde a definição do respetivo conteúdo e delimitação da zona em que o aviso deve ser disseminado, até à fixação da hora de transmissão e de eventuais repetições, é um processo que envolve organizações e pessoas com responsabilidades definidas, o subsistema de criação e expedição de avisos proposto deve ser

dotado de uma interface intuitiva e de fácil utilização. Em contraste, os *gateways* devem poder operar de forma automática, libertando os operadores e gestores de emergência de preocupações com os detalhes de funcionamento das infraestruturas de comunicação.

Para ilustrar a proposta descreve-se de forma sucinta o envio do aviso através de três canais de comunicação: sirenes, SMS e televisão. Os dois últimos são tratados de forma extensiva nos capítulos seguintes, analisando-se detalhadamente as limitações intrínsecas de cada um e outras resultantes de opções concretas que condicionam a realidade nacional, e propondo soluções para eliminar ou atenuar o impacto de algumas delas.

As sirenes foram selecionadas por serem atualmente o canal de comunicação mais utilizado para o envio do aviso. O SMS e a televisão são dois canais de comunicação com uma boa cobertura geográfica nacional e uma elevada taxa de utilização pela população.

6. Proposta de uma Rede de Aviso de SMS

6.1. Introdução

Os telemóveis constituem uma tecnologia móvel que tem sido amplamente adotada pela generalidade das pessoas. Em 2011, o número de telemóveis, a nível global, ultrapassou os 6000 milhões, correspondente a cerca de 86 telemóveis por 100 pessoas, o que é ilustrativo da popularidade desta tecnologia (ITU, 2012). Em Portugal, a utilização de telemóveis é ainda mais elevada, tendo a taxa de penetração chegado aos 126,3% em 2012 (Anacom, 2013).

O SMS (*Short Message Service*) é um serviço disponibilizado pelos operadores das redes móveis que permite receber e enviar mensagens curtas. É um serviço muito popular, particularmente utilizado para envio de mensagens pessoais, marcação de reuniões, votações de concursos televisivos, campanhas publicitárias e em muitas outras comunicações de carácter informal ou formal. Só em Portugal foram enviadas 51 milhões de mensagens no Natal de 2012 (Gomes, 2012).

As mensagens enviadas pelo SMS são transmitidas através dos canais de sinalização, não utilizando os canais alocados às chamadas de voz. Esta característica permite que o SMS possa ser utilizado, mesmo quando não seja possível estabelecer conversações telefónicas devido à congestão da rede móvel. A título de exemplo, durante a cerimónia de encerramento da Expo 98 as chamadas de voz deixaram de poder ser efetuadas, devido ao elevado volume de chamadas que ocorreu. Analogamente, durante os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001, o volume elevado de tráfego levou a que o estabelecimento de chamadas se tornasse extraordinariamente difícil (Public Safety Canada, 2002). No entanto, em ambos os casos, o envio de mensagens através do SMS continuou a operar e permitiu estabelecer comunicações com as pessoas presentes nesses locais.

O comportamento do SMS durante eventos como os atrás indicados, a par da sua popularidade, indiciam tratar-se de um excelente candidato para canal de comunicações de uma rede de aviso.

No entanto, embora as redes públicas móveis enviem diariamente milhões de mensagens de texto, não são conhecidos estudos sobre o comportamento do SMS numa situação em que é necessário enviar mensagens num período limitado de tempo para a população que esteja presente numa determinada zona.

Neste capítulo apresenta-se uma proposta para a utilização do SMS como canal de comunicações de uma rede de aviso e mostra-se em que situações é adequada essa utilização. Em particular, com base na arquitetura das redes móveis, determina-se o volume máximo de mensagens que uma rede móvel pode suportar num dado intervalo de tempo e numa determinada zona. Recorrendo a uma modelação analítica mostram-se os limites que as redes públicas móveis possuem para o envio de mensagens quando é necessário que sejam recebidas pelos destinatários num período de tempo limitado.

Para além desta introdução, o presente capítulo inclui quatro secções cujo conteúdo é seguidamente resumido. A secção 2, Limitações do SMS, identifica algumas limitações que podem existir quando se utiliza o SMS para avisar a população. A secção 3, Soluções para as limitações do SMS, apresenta propostas para solucionar as limitações identificadas na secção anterior. Na secção 4, Modelação, apresenta-se uma modelação analítica do envio de mensagens de texto em dois cenários de desastre. Finalmente, na secção 5, Conclusões, faz-se uma síntese das propostas e resultados apresentados neste capítulo.

6.2. Limitações do SMS

6.2.1. Restrições Derivadas do Planeamento da Rede

O objetivo de uma rede móvel é o de estabelecer ligações que envolvem a afetação de recursos da rede (canais lógicos, canais físicos, centrais de comutação, etc.) durante o período de duração do serviço solicitado. No entanto, por razões económicas, não é possível projetar uma rede com recursos suficientes para dar resposta imediata a todas as solicitações de serviço. O dimensionamento de uma rede é feito de forma a admitir um certo nível de bloqueio no pedido de chamadas de voz (i.e. recusa de estabelecimento de chamadas) e algum atraso na entrega das mensagens.

Como os serviços solicitados a uma rede e a sua duração variam de forma aleatória, a análise e o dimensionamento de uma rede envolvem a utilização de modelos estatísticos. Tipicamente projeta-se uma rede com base em medidas de tráfego na hora de ponta (i.e. na hora onde ocorre um maior número de serviços), como o volume de tráfego e a duração média do serviço.

O sobredimensionamento da rede para suportar picos de tráfego mais elevado é tipicamente dispendioso ou inexecutável. Por exemplo, aumentar o número de frequências em cada célula, exigiria que o operador solicitasse novas frequências ao regulador, uma solução geralmente muito dispendiosa. No caso de Portugal, o pedido de mais frequências seria inclusivamente recusado, uma vez que o espetro GSM está integralmente alocado.

Apesar de as redes GSM transmitirem milhões de mensagens de texto diariamente, existem limitações relevantes quando se pretende utilizar o SMS como canal do aviso. Com efeito, só é possível transmitir este volume elevado de mensagens de texto devido à distribuição geográfica e temporal das mensagens. O volume de mensagens para uma determinada área e num intervalo de tempo limitado é tipicamente regular e baixo em comparação com o volume total de mensagens transmitido numa rede GSM, permitindo que seja facilmente suportado. Para equacionar o envio de um aviso por SMS é necessário determinar o volume máximo que é possível suportar numa dada área e num dado intervalo de tempo, por forma a perceber se o canal de comunicação SMS que se pretende utilizar é adequado para o fim a que se destina. Esta necessidade decorre diretamente dos requisitos Envio em tempo útil e Escalabilidade.

6.2.2. Complexidade na Comunicação com o Telemóvel

As redes celulares, contrariamente à Internet, despendem recursos significativos no estabelecimento de uma ligação.

A Internet foi concebida para suportar a perspetiva extremo-a-extremo. Esta perspetiva impõe que as funcionalidades que não sejam necessárias a todos os tipos de tráfego não devem ser implementadas no núcleo da rede. Por exemplo, como nem todas as aplicações necessitam que os pacotes sejam entregues na ordem correta, a garantia de entrega é implementada nos extremos das rede e não nos *routers*. Como o núcleo da rede não fornece ou gere fluxos de dados, o custo de encaminhar pacotes na Internet depende unicamente da dimensão do pacote.

As redes celulares não adotam a perspetiva utilizada pela Internet, despendendo esforços significativos quando é necessário estabelecer uma ligação. Como descrito anteriormente, estas operações incluem a localização do telemóvel e a execução de um conjunto significativo de operações antes que uma mensagem possa ser entregue ao destinatário.

Outra das dificuldades associadas ao envio de avisos a uma população numerosa através do SMS advém da natureza do serviço utilizado.

Atualmente, na generalidade dos casos, a transmissão de mensagens de texto é feita entre telemóveis individuais (SMS ponto-a-ponto). A difusão de mensagens para todos os telemóveis de uma célula (difusão celular), apesar de estar contemplada nas normas GSM, foi abandonada pelos operadores. Este segundo serviço de mensagens exigiria, para o envio de avisos, substancialmente menos recursos da rede do que a opção que atualmente pode ser utilizada.

A diferença entre estes dois serviços é muito significativa: no SMS ponto-a-ponto é necessário comunicar com cada um dos destinatários, enquanto que na difusão celular basta difundir uma única comunicação para todos os potenciais destinatários localizados numa dada célula. Os custos da comunicação do SMS ponto-a-ponto aumentam com o número de destinatários, enquanto que o custo da difusão celular é independente do número de destinatários presentes na célula, tal como sucede com os serviços típicos de difusão (*broadcast*).

Este aspeto específico das redes celulares é particularmente relevante para a satisfação do requisito Escalabilidade de um sistema de aviso.

6.2.3. Falta de Mecanismos de Autenticação da Mensagem

Os utilizadores devem poder confiar na autenticidade dos avisos que recebam. A falta de garantias de que o remetente da mensagem é autêntico constitui uma oportunidade para que terceiros de má-fé possam gerar falsos avisos.

O SMS não fornece nenhum mecanismo de autenticação. É possível que um indivíduo com uma ligação à Internet possa injetar mensagens com um conteúdo arbitrário para qualquer telemóvel. A figura 26 mostra exemplos de mensagens deste tipo que são indistinguíveis das mensagens legítimas.

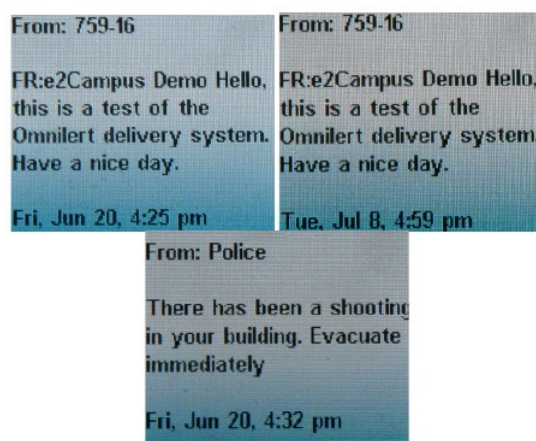


Fig. 26 - Mensagens de diferentes origens

A imagem no canto superior esquerdo é uma mensagem de teste, enquanto que a do canto superior direito foi enviada a partir de uma aplicação web do operador. A imagem inferior é uma mensagem falsa que alega ser da polícia (Traynor, 2012).

Esta limitação tem implicações relevantes. Por exemplo, na eventualidade de um desastre químico, seria fácil que um indivíduo mal intencionado enviasse uma mensagem indicando que o perigo tinha passado. Como o destinatário da mensagem não tinha forma de verificar que o remetente era autêntico, esta possibilidade constitui uma ameaça possível. São conhecidos diversos exemplos de avisos falsos, tendo-se detetado mensagens maliciosas, nomeadamente em situações de terremotos (Jakarta Post, 2006), tsunamis (RobotGod, 2007) e tiroteios em escolas (Gambrell, 2007).

A falta de mecanismos de autenticação de mensagens dificulta a satisfação do requisito Autenticidade do aviso, que deverá ter que ser assegurada através de meios exteriores à rede GSM.

6.2.4. Atrasos e Perdas de Mensagens

As chamadas telefónicas são exemplo de um serviço em que os utilizadores esperam que seja possível manter uma conversação sem atrasos entre pergunta e resposta. Esta instantaneidade das chamadas telefónicas é distinta da que ocorre em serviços como o correio eletrónico, onde é expectável que exista algum atraso na entrega das mensagens.

As mensagens de texto possuem um comportamento mais próximo de serviços como o correio eletrónico do que das chamadas telefónicas. Em algumas situações, as mensagens de texto podem ser entregues com atrasos significativos e nalgumas circunstâncias nem sequer são

entregues. Este fenómeno pode ser observado, por exemplo, durante as celebrações do Natal e do Ano Novo, quando as redes móveis atingem picos de tráfego de mensagens. A entrega das mensagens nestas circunstâncias pode exceder as seis horas (Elliot, 2007).

Para a generalidade das utilizações do SMS, a perda ou o atraso da mensagens não é uma preocupação central. Todavia, esta limitação tem implicações na conceção de redes de aviso baseadas em SMS. No caso de envio de um aviso por SMS, é necessário impor limites aos atrasos e minimizar as perdas.

Mais uma vez, estão em causa os requisitos Envio em tempo útil e Escalabilidade, sendo o requisito Redundância uma das formas de o sistema de aviso se tornar imune a este tipo de limitação.

6.3. Soluções para as Limitações do SMS

6.3.1. Generalidades

Apesar de existirem redes tecnologicamente mais avançadas, como são os casos das redes de terceira e quarta geração, as redes GSM são as que possuem a melhor cobertura a nível nacional (Anacom, 2011). Se conjugarmos este facto com o conhecimento de que todos os telemóveis utilizados em Portugal são compatíveis com a norma GSM, podemos concluir que as redes GSM constituem a melhor rede móvel para enviar um aviso à população através do SMS.

Enviar o aviso à população utilizando o SMS é um problema que exige um sistema capaz de entregar mensagens à população presente numa zona circunscrita (zona de risco) e num período de tempo limitado (tempo máximo de aviso), na língua preferida do destinatário, de forma segura para uma população potencialmente numerosa. Estas exigências decorrem dos seguintes requisitos enumerados no capítulo anterior: Difusão geograficamente seletiva, Envio em tempo útil, Suporte de múltiplos grupos de destinatários e Escalabilidade.

As propostas para a rede de aviso baseada em SMS que a seguir se apresentam visam satisfazer estes requisitos. Houve, além disso, a preocupação de serem propostas viáveis, indo ao encontro do requisito Exequibilidade. Por esse motivo, as propostas apresentadas apenas tiram partido de funcionalidades existentes em redes portuguesas, não se tendo recorrido a

funcionalidades especificadas nas normas GSM que não estão operacionais (e.g. compressão de mensagens, difusão celular).

6.3.2. Submissão da Mensagem

Para se conceber um sistema eficaz que suporte múltiplos tipos de desastre, com limites máximos para o tempo de aviso diferentes, é necessário conceber um sistema que tente minimizar o tempo de transmissão do aviso.

No caso do SMS, existem duas opções possíveis para enviar mensagens: através de um telemóvel e através do servidor de SMS. A segunda opção é a mais rápida uma vez que a submissão das mensagens se processa através de meios de transmissão com débitos mais elevados. É por esse motivo a melhor escolha para o envio do aviso à população.

Em Portugal, existem atualmente três operadores móveis que possuem servidores de SMS: TMN, Vodafone e Optimus. Os restantes operadores móveis (e.g. CTT, Zon, Lycamobile), utilizam os servidores de SMS de um dos operadores móveis tradicionais com o qual possuem um acordo.

As conexões ao servidor de SMS de um operador são feitas através de uma ligação IP, sendo o diálogo com o servidor efetuado utilizando um protocolo específico. No caso de Portugal, os servidores de SMS dos operadores existentes suportam o UCP/EMI ou o SMPP.

Existem diversas alternativas para submissão do aviso através de um servidor de SMS: conexão direta ao servidor de SMS de cada operador, conexão direta ao servidor de SMS de um único operador e conexão através de um *gateway*.

A primeira alternativa, conexão direta ao servidor de SMS de cada operador é ilustrada na Fig. 27.

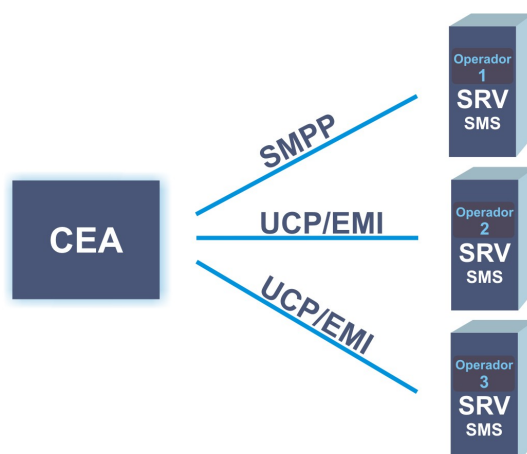


Fig. 27 - Conexão direta ao servidor de SMS de cada operador

Esta alternativa tem a vantagem de eventuais problemas com as ligações de um operador não afetarem as conexões dos outros operadores. Possui a desvantagem de o módulo de submissão de avisos (CEA) necessitar de dialogar utilizando os protocolos dos diferentes operadores.

A segunda alternativa, conexão direta ao servidor de um único operador, exige o posterior encaminhamento do aviso para os restantes operadores. O encaminhamento das mensagens SMS entre operadores GSM é feito através do protocolo MAP (*Mobile Application Part*) como ilustrado na Fig. 28.

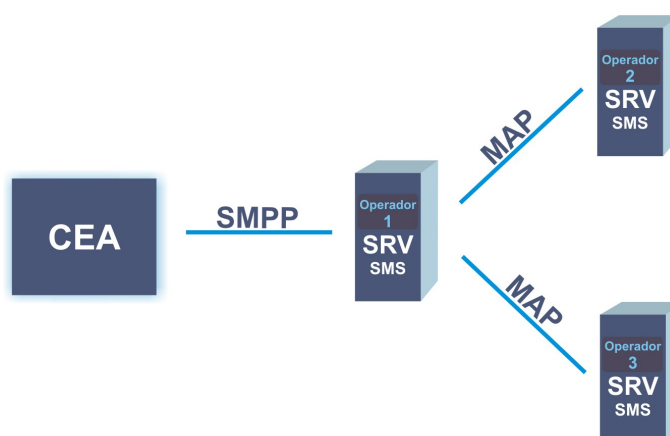


Fig. 28 - Conexão direta ao servidor de SMS de um único operador

Como vantagem, esta alternativa exige uma única conexão ao sistema de aviso. Em contrapartida possui as seguintes desvantagens: a conexão única ao operador constitui um ponto de falha do sistema; a submissão do aviso aos servidores dos restantes operadores possui um atraso inerente, pois é necessário que o aviso percorra um conjunto de ligações até

chegar ao servidor de SMS; e, os caminhos entre os operadores têm que ser cuidadosamente verificados para identificar falhas potenciais.

A terceira alternativa, conexão através de um *gateway*, pressupõe a existência de um servidor com a capacidade de dialogar com o módulo de submissão de avisos (CEA) através de um protocolo específico e a capacidade de retransmitir o aviso aos servidores de SMS de cada operador (Fig. 29).

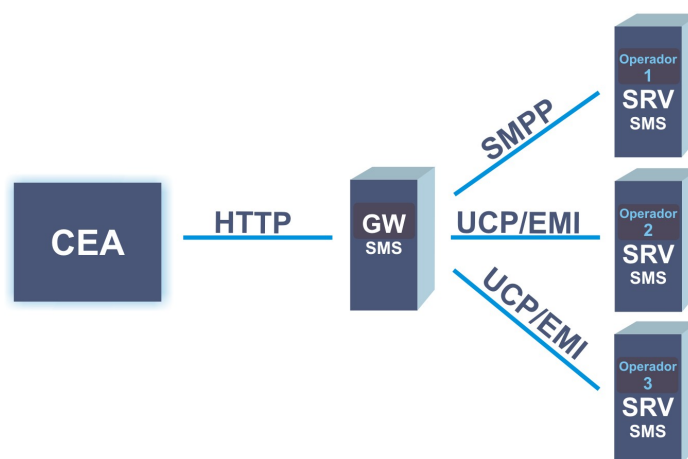


Fig. 29 - Conexão através de um *gateway*

Esta alternativa, tal como a anterior, exige uma única conexão ao sistema de aviso. Por conseguinte, esta conexão é um ponto de falha do sistema, sendo necessário tomar medidas que melhorem a sua resiliência.

Depois de se terem avaliado as alternativas para a submissão do aviso considera-se que a melhor opção é a conexão através de um *gateway*. Tem a vantagem de ser modular e possibilitar uma instalação rápida. A utilização de um *gateway*, como o *kannel*, permite encapsular os detalhes de comunicação de baixo nível com os diferentes servidores de SMS através de uma interface de alto nível. Adicionar uma ligação a um novo operador, pode ser feito através da simples alteração do ficheiro de configuração do *gateway*, ao invés de exigir a criação de um módulo adicional. Todavia, como o *gateway* constitui um ponto de falha do sistema, será necessário adotar algumas medidas para aumentar a sua confiabilidade (e.g. servidor com uma ou mais réplicas).

6.3.3. Identificação dos Destinatários do Aviso

Para se enviar o aviso à população através do SMS é necessário identificar os destinatários do aviso. Para a rede através do qual se pretende enviar o aviso, estes correspondem aos telemóveis que estão na zona de risco.

A resolução deste problema requer a implementação de um serviço móvel cujo funcionamento dependa do conhecimento da localização dos telemóveis. Esta classe de serviços móveis é habitualmente denominada por serviços baseados na localização (*Location Based Services – LBS*).

Os serviços baseados na localização são serviços em que o fornecimento da informação depende da localização do telemóvel. Distinguem-se dois tipos de serviços, dependendo da forma como a informação chega ao telemóvel: serviços *pull* e serviços *push*. Num serviço do tipo *pull* a informação é enviada a pedido do utilizador. Num serviço do tipo *push*, a informação é fornecida quando um utilizador se encontra numa determinada posição. Um exemplo de serviço *pull* é o serviço de emergência 112L, que permite localizar as pessoas que efetuam chamadas para o 112, o número único de emergência europeu (Regulamento nº 99/2009). Em contrapartida, o serviço de aviso à população é um serviço *push*, pois é desencadeado pela localização dos utilizadores na zona de risco.

Seguidamente, identificam-se os requisitos de funcionamento que o serviço de aviso à população deverá possuir no que diz respeito a três componentes: telemóveis que deve suportar, rede de comunicação que deve suportar e sistema de localização a utilizar.

Como se trata de um serviço de emergência, em que está em risco a vida de pessoas, é necessário que o serviço abranja a totalidade dos telemóveis na posse dos utilizadores.

A rede móvel escolhida deverá ser a que possui maior cobertura. Como se indicou anteriormente, no caso de Portugal (como em quase todo o mundo), a rede que cumpre este requisito é a GSM.

Para se escolher o sistema de localização é necessário conhecer as diversas opções existentes. De uma maneira geral, existem duas abordagens tecnológicas possíveis para localizar os telemóveis: umas baseadas no telemóvel e outras baseadas na rede do operador. A primeira

abordagem exige a participação ativa do telemóvel para determinar a sua localização, enquanto que a segunda utiliza apenas a infraestrutura de rede do operador.

As técnicas de localização baseadas no telemóvel não são suscetíveis de ser utilizadas num serviço de aviso à população, uma vez que exigiriam que os telemóveis atualizassem periodicamente a sua posição. Esta exigência requer a instalação de uma aplicação em todos os telemóveis e possui uma elevada falta de escalabilidade. O desenvolvimento de uma aplicação para todos os telemóveis seria de muito difícil concretização, dada a profusão de plataformas existentes, no caso de *smartphones* e telemóveis simples (*feature phones*), ou de impossível concretização, no caso de telemóveis básicos. Ultrapassada a barreira do desenvolvimento, seria ainda necessário promover uma campanha de divulgação para a instalação da aplicação, com uma elevada possibilidade de não se conseguir abranger todos os equipamentos. Para além disso, a comunicação da posição por um número elevado de telemóveis conduz potencialmente a uma utilização excessiva da rede e a uma congestão das ligações de mais baixo débito. Dadas as claras desvantagens da sua utilização esta abordagem não será discutida.

Existem cinco técnicas de localização baseadas na rede: identificação da célula (*Cell Id*), identificação melhorada da célula (*Cell Id++*), tempo de chegada (*Time of Arrival – TOA*), diferença do tempo de chegada (*Time Difference of Arrival – TDOA*) e ângulo da chegada (*Angle of Arrival – AoA*) (Adusei et al, 2002; Solanki e Hu, 2005).

A identificação da célula é o método de posicionamento mais simples oferecido pela rede. Nesta técnica, a localização da estação base em que o telemóvel se registou é utilizada para definir a posição do telemóvel. A precisão desta técnica depende da dimensão da célula, podendo variar entre os 35 km, numa área rural a 50 m, numa área urbana (Adusei et al, 2002) (Fig. 30).

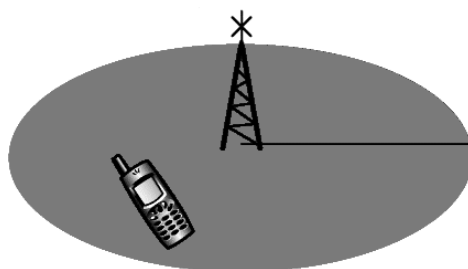


Fig. 30 - Identificação da célula

A identificação melhorada da célula requer, para além da identificação da célula, o conhecimento do parâmetro *Timing Advance*. O parâmetro *Timing Advance* é uma medida que pode ser enviada pela estação base ao telemóvel, no decurso de uma chamada de voz ou dados, e cujo valor depende da distância a que o telemóvel se encontra da estação base. Estima-se que a precisão desta técnica seja de 550 m (Adusei et al, 2002). É uma técnica que apenas pode ser utilizada durante uma chamada (Fig. 31).

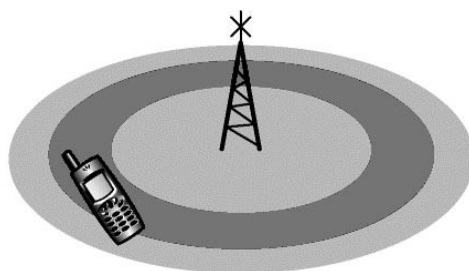


Fig. 31 - Identificação melhorada da célula

Na técnica do tempo de chegada mede-se o tempo de propagação de três ou mais sinais entre estações base e um telemóvel. É uma técnica que requer a existência de relógios precisos e sincronizados, uma vez que um erro de 1 microsegundo causa um erro de posição de 300 m. É uma técnica que exigiria um investimento em relógios precisos nas estações base e a utilização de um mecanismo de sincronização entre os relógios, o que dificulta a sua utilização (Fig. 32).

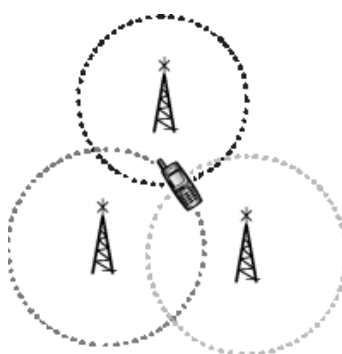


Fig. 32 - Tempo de chegada

A técnica de diferença do tempo de chegada constitui uma variante da técnica do tempo de chegada. Ao invés de utilizar os tempos absolutos de propagação, utilizam-se as diferenças entre tempos de propagação. Um elemento adicional na rede, conhecido como LMU (*Location Measurement Unit*), guarda o valor do tempo de propagação do sinal entre o telemóvel e uma estação base, $d1$. Este valor é comparado com o valor do tempo de

propagação do sinal com outra estação base, $d2$. A diferença entre estes tempos, $d1-d2$, é a diferença de tempo de chegada. Este valor define uma hipérbole onde o telemóvel se pode encontrar. Utilizando uma terceira estação base pode-se estabelecer uma nova hipérbole cuja interseção com a primeira permite localizar o telemóvel. A desvantagem deste método é exigir um elemento adicional na rede móvel, o LMU (Fig. 33).

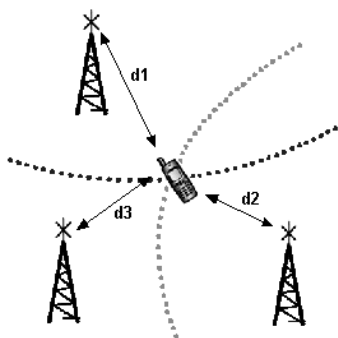


Fig. 33 - Diferença de tempo de chegada observado

Na técnica do ângulo da chegada mede-se o ângulo de chegada do sinal de um telemóvel a duas ou mais estações base. A utilização desta técnica exige que as estações base possuam antenas com capacidade para medir este ângulo. Cada estação base teria que estar equipada com um conjunto de antenas (tipicamente entre 4 e 12) com um espaçamento inferior ao comprimento de onda do sinal. É uma técnica que exigiria um investimento dispendioso em antenas, o que limita a sua utilização (Fig. 34).

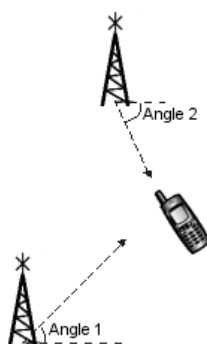


Fig. 34 - Ângulo de chegada

Conclui-se assim que das diferentes técnicas de localização existentes, a única que pode ser utilizada para o aviso à população face à realidade existente é a identificação da célula. Todas as restantes exigem alterações às redes ou apenas podem ser utilizadas em situações muito específicas (Tabela 13).

Tabela 13 - Vantagens e desvantagens das técnicas de localização baseadas na rede

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Cell Id	Disponível	Baixa precisão
Cell Id++	Melhor precisão que o Cell Id Apenas utiliza 1 estação base	Apenas utilizável no decurso de uma chamada
TOA		Alterações muito dispendiosas na rede
TDOA	Melhor precisão que o Cell Id++	Alterações dispendiosas na rede
AOA	Melhor precisão que o Cell Id++ Apenas utiliza 2 estações base	Alterações muito dispendiosas na rede

6.3.4. Precisão da Localização dos Destinatários

O aviso à população deve ser entregue aos telemóveis que se encontram numa área determinada (zona de risco) pelas autoridades de proteção civil.

As redes GSM, como todas as redes celulares posteriores à segunda geração, possuem informação sobre a localização dos telemóveis. Todavia, pela forma da sua obtenção, a informação de localização existente não é precisa, nem garantidamente atual. A atualidade e precisão dependem dos procedimentos de atualização utilizados na rede.

Nas redes GSM, existem três situações que permitem obter informação sobre a localização do telemóvel: quando o telemóvel é ligado, quando o telemóvel se desloca e de forma periódica.

Quando o telemóvel é ligado desencadeia o procedimento de atualização de localização enviando a sua identificação (*IMSI Attach*) para a rede. Este procedimento permite que a rede obtenha a localização correspondente à estação base onde o telemóvel se encontra.

Quando um telemóvel se desloca, só envia informação sobre a sua localização caso detete a ocorrência de uma mudança da área de localização. A deteção de mudança da área de localização pode ser determinada pelo telemóvel, uma vez que este compara o código da área de localização (LAC), difundido pelo canal BCCH da rede, com o que se encontra armazenado no SIM. Se os dois diferirem, o telemóvel informa a rede da sua nova localização. Neste caso, o VLR recebe as atualizações da localização, envia-as para o HLR do assinante, que por sua vez, cancela a informação no VLR anterior.

Independentemente de se deslocar ou não, o telemóvel envia também informação sobre a sua localização de forma periódica. A periodicidade é fixada por um parâmetro definido pelo operador que é difundido através do canal BCCH. Este procedimento (*Periodic Registration*)

é feito para evitar que, relativamente a um telemóvel desligado de forma inapropriada, a rede mantenha a informação de que ele está acessível. Numa situação normal, quando o telemóvel é desligado, dá indicações à rede (*IMSI detach*) que se vai desligar, permitindo que esta altere o seu estado para inacessível.

Dada a necessidade de obter informação atualizada sobre a localização dos telemóveis, propõe-se que a periodicidade de registo, um parâmetro que pode ser definido pelo operador, seja alterado antes, durante e depois do envio do aviso. A alteração deverá ser efetuada apenas nos setores que cubram a zona de risco, de forma a minimizar impactos no tráfego da rede.

De acordo com as especificações GSM, a periodicidade do registo pode variar entre 1 e 255, correspondendo cada incremento a 0,1 horas. Tendo em conta estas limitações propõe-se as seguintes alterações para a periodicidade de registo:

- Antes do Aviso – de forma a obter a localização dos destinatários mais atualizada possível a periodicidade do registo deve ser reduzida para o menor valor possível, que corresponde ao mínimo da especificação GSM, 6 minutos (0,1 h);
- Durante o Aviso – determinada a localização dos destinatários é necessário minimizar a utilização da rede de forma a disponibilizar o maior débito possível para as mensagens do aviso, pelo que a periodicidade do registo deve ser alterada para o máximo possível, que corresponde a 25 horas e 30 minutos (25,5 h);
- Após o Aviso – terminada a emergência, a periodicidade do registo deverá retornar ao valor anteriormente definido pelo operador.

6.3.5. Mensagem em Diversas Línguas

O aviso aos destinatários deverá ser entregue, sempre que possível, na língua da sua preferência.

Nas redes GSM, o HLR é o responsável por armazenar informação de natureza estática sobre os assinantes. Em contrapartida, o VLR, armazena informação de natureza dinâmica.

O HLR é uma base de dados de grandes dimensões que contém informações de todos os assinantes do operador, concebida para ter tempos de acesso curtos. Quanto mais rapidamente for a resposta da base de dados mais rapidamente a chamada pode ser estabelecida. O número de HLR existente numa rede é determinado pelo número de assinantes. No entanto, embora

uma rede possa ter mais do que um HLR, existe apenas um registo na base de dados por assinante, levando a que cada HLR seja responsável pela gestão de uma parte dos assinantes.

Sempre que um assinante é adicionado ao sistema é inserido um registo no HLR. Os dados existentes no HLR podem ser acedidos por todas as centrais de comutação móvel e VLR da rede. Todavia, quando exista um acordo de *roaming*, as informações relativas ao assinante podem igualmente ser acedidas pelas centrais de comutação móvel e VLR da rede visitada.

No HLR estão armazenadas as seguintes informações: identificador do assinante (IMSI), número de telefone (MSISDN), endereço da central de comutação móvel (MSC) onde o telemóvel esteja registado, endereço do VLR onde o telemóvel esteja registado, serviços suplementares subscritos pelo assinante (barramento de chamadas, reencaminhamento de chamadas, aviso de chamada em espera), parâmetros de autenticação do assinante.

Por sua vez, o VLR é uma base de dados que contém informações apenas sobre os assinantes que estejam na sua área de cobertura, e foi concebida para reduzir o número de acessos ao HLR. As informações no VLR incluem uma cópia de parte dos dados existente no HLR relativas ao assinante e algumas informações adicionais sobre o mesmo assinante.

Quando um assinante se move da área de cobertura de um VLR para a de outro VLR, os dados relativos ao assinante são transferidos do anterior VLR para o novo VLR, existindo, no entanto, alturas em que o VLR solicita ao HLR dados relativos ao assinante.

No VLR encontram-se armazenadas as seguintes informações adicionais: número de telefone de *roaming* (MSRN), código da área de localização (LAC), estado do telemóvel (livre ou ocupado), etc.

A tabela 14 faz uma comparação de alguns parâmetros armazenados no HLR e VLR.

Tabela 14 - Parâmetros do assinante armazenados no HLR e VLR

Parâmetro	HLR	VLR
HLR		✓
IMSI	✓	✓
MSISDN (da rede)	✓	✓
MSISDN (em <i>roaming</i>)		✓
MSC	✓	✓
VLR	✓	
Serviços suplementares	✓	
LAC		✓
Estado do telemóvel		✓
MSRN		✓

Esta tabela permite constatar que, numa rede GSM, é possível obter o MSISDN dos destinatários nacionais (assinantes da rede) do HLR e o MSISDN dos destinatários estrangeiros (visitantes em *roaming*) do VLR.

O MSISDN, que corresponde ao número de telefone, permite identificar um assinante quando se pretende estabelecer uma chamada ou enviar uma mensagem para esse assinante. O MSISDN é um número do plano de numeração proposto pela ITU, o E.164. Possui uma estrutura com três partes: código do país, código nacional de destino e número de assinante (Fig. 35).

1-3 dígitos	1-4 dígitos	Variável
Código do país	Código nacional de destino	Número de assinante
↓	↓	↓
351	93	1234567

Fig. 35 - Estrutura do MSISDN

O código do país identifica o país onde foi subscrito o telemóvel. O código nacional de destino segue o plano de numeração do regulador do país, podendo identificar uma área geográfica, um operador ou um tipo de serviço, caso o número não tenha sido portado. No caso da numeração atribuída a telemóveis, o código nacional de destino identifica o operador. O número de assinante é um número atribuído pelo operador. Por exemplo, o MSISDN 351931234567 permite identificar que o número telefónico é de Portugal (uma vez que de acordo com a ITU, o prefixo 351 identifica Portugal), da rede Optimus (uma vez que, de acordo com a Anacom, o 93 identifica a rede Optimus) cujo número de assinante é o 1234567.

Assim, tendo em conta a informação disponível no HLR e no VLR, propõe-se que a língua do aviso seja determinada com base no código do país e, eventualmente, no código do operador do MSISDN do destinatário. Na generalidade dos casos deverá ser escolhida a língua oficial do país identificado. Na eventualidade de o país possuir várias línguas oficiais, e caso o operador atue numa região com predominância linguística de uma das línguas oficiais deverá ser seleccionada esta última língua.

6.3.6. Segurança

A população que recebe o aviso deve poder confiar na autenticidade dos avisos que recebe.

As redes GSM possuem alguns mecanismos de autenticação e segurança que não se revelam suficientes para impedir o envio de mensagens falsas. O problema mais grave, identificado na secção anterior, é o da possibilidade de falsificação da identidade do remetente (*SMS Spoofing*).

O *SMS Spoofing* ocorre quando um remetente manipula o endereço para assumir a identidade de outro utilizador e envia uma mensagem. Um exemplo de *SMS Spoofing* é o envio de mensagens de texto através do Google. As mensagens enviadas desta forma identificam o remetente como Google.

Para evitar que surjam avisos falsos identificados como provenientes das autoridades de proteção civil propõe-se que os avisos sejam apenas enviados através de um *gateway* de SMS utilizando-se como remetente um número fixo (e.g. 211). A ligação entre o *gateway* de SMS e o servidor de SMS deverá ser segura e fiável, não se devendo recorrer por esse motivo a ligações através da Internet. O número fixo do remetente deverá ser divulgado junto da população de forma análoga ao que sucede com o número de emergência 112.

Verificando-se estes pressupostos, o servidor de SMS poderá utilizar os filtros de mensagens não solicitadas que possui para eliminar as mensagens cujo remetente seja o número utilizado pelas autoridades e cuja proveniência não seja o *gateway* de SMS.

6.3.7. Capacidade

Caso se enviem mensagens de texto para um número elevado de telemóveis, existe a possibilidade de se verificarem estrangulamentos na ligação entre a estação base e o telemóvel.

Numa rede GSM, o envio de uma mensagem SMS para um telemóvel é feito através do canal SDCCH. Por outro lado, o USSD (*Unstructured Supplementary Service Data*) é um serviço suportado nas redes GSM, semelhante ao SMS, que tem a particularidade de ter tempos de resposta mais curtos que o SMS.

Para aumentar o volume de tráfego suportado por uma célula, propõe-se utilizar dois métodos: aumentar de forma dinâmica o número de canais SDCCH (canais através do qual se enviam mensagens SMS) e enviar o aviso via USSD (mensagens semelhantes aos da consulta do saldo telefónico). Utilizando o primeiro método pode-se aumentar o débito agregado do canal através do qual se enviam os avisos. Enviando-se as mensagens via USSD, reduz-se o débito de tráfego por aviso, uma vez que o USSD permite enviar mensagens sem confirmação, contrariamente ao SMS.

Numa rede GSM, o envio de uma mensagem SMS para um telemóvel é feito no canal SDCCH, tornando este canal num possível ponto de engarrafamento. Para avaliarmos a capacidade máxima de envio de mensagens numa célula, necessitamos assim de conhecer os débitos de cada canal SDCCH e o número de canais existentes na célula.

6.3.8. Problemas Potenciais

Descrevem-se seguidamente algumas restrições ou problemas que podem levar a que o aviso não chegue ao destinatário e que a presente proposta não resolve:

- As mensagens de texto podem ser barradas pelo utilizador do telemóvel se este ativar o serviço de barramento de todas as chamadas recebidas (*Barring of All Incoming Calls – BAIC*). Neste caso, é efetuado o barramento à receção de chamadas de voz e a mensagens de texto, impedindo que o destinatário possa receber o aviso;
- O telemóvel do destinatário encontra-se numa zona de sombra da rede. Neste caso, enquanto o telemóvel estiver nessa região não terá possibilidade de receber o aviso.

6.4. Modelação

6.4.1. Abordagem e Cenários Escolhidos

Para compreender o comportamento de um sistema de aviso baseado em SMS seria desejável observá-lo durante uma emergência.

Como estes acontecimentos são raros, é necessário recorrer a abordagens alternativas: criar condições experimentais que reproduzam o fenómeno e medir diretamente os resultados (modelação experimental); criar um modelo matemático que reproduza de forma simplificada as principais operações envolvidas (modelação analítica); criar uma simulação computacional que reproduza as principais operações envolvidas (modelação por simulação); analisar dados provenientes de ocorrências históricas (modelação estatística); e, utilizar uma combinação de abordagens.

O primeiro tipo de abordagem, modelação experimental, pode ser feita num ambiente real (rede móvel em operação) ou num ambiente de teste (rede de teste). A modelação experimental numa rede móvel em operação é de difícil exequibilidade, pela necessidade de se obter a colaboração de um operador e pela possibilidade de as experiências afetarem a operacionalidade da rede. A modelação experimental numa rede de teste é de difícil concretização por ser dispendiosa e consumidora de tempo. A implementação da rede de teste exige a aquisição de diversos equipamentos dispendiosos (uma ou duas estações base, um controlador de estação base, uma central telefónica móvel, um servidor de SMS e um servidor para gerir a rede) (Fig. 36), uma integração da rede de grande dificuldade técnica e a solicitação de uma licença de operação da rede ao regulador de telecomunicações.

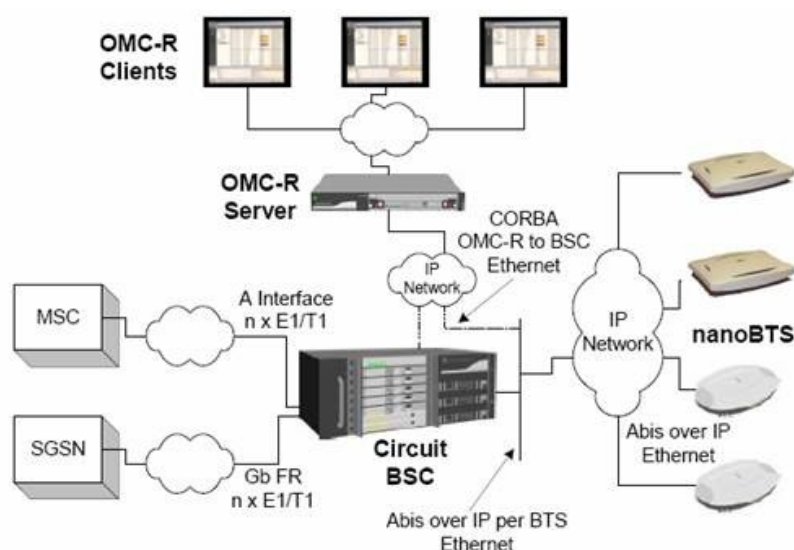


Fig. 36 - Possível solução para implementar uma rede de teste

O segundo tipo de abordagem, modelação analítica, revela-se atraente pela possibilidade que oferece de prever o comportamento do canal de comunicações (Agarwal et al., 2004) e ser substancialmente menos dispendiosa do que a modelação experimental. No entanto, as hipóteses simplificadoras utilizadas neste tipo de abordagem para evitar modelos matemáticos cuja resolução analítica não seja possível podem conduzir a resultados menos precisos.

O terceiro tipo de abordagem, modelação por simulação, é uma opção igualmente atraente para avaliar o canal de comunicações e tem a vantagem sobre a modelação analítica de melhor capturar o comportamento do sistema. Todavia, para que os resultados da simulação sejam credíveis, é necessário validá-la de forma a verificar se o modelo não possui fragilidades conceptuais ou se os algoritmos foram corretamente implementados.

O quarto tipo de abordagem, modelação estatística, está limitado pela disponibilidade de dados. Neste caso, não existem dados sobre o comportamento do SMS no envio de avisos à população, pelo que não é possível utilizar esta abordagem.

Optou-se inicialmente pela modelação por simulação por parecer ser a melhor abordagem. Tal opção conduziu ao desenvolvimento de um modelo que procura simular o comportamento de uma rede GSM numa situação de aviso à população. Todavia, as dificuldades em determinar se o modelo refletia o comportamento do sistema real levaram a que se abandonasse esta abordagem. No Anexo A descreve-se o modelo desenvolvido e a tentativa da sua validação.

A opção recaiu posteriormente no desenvolvimento de um modelo analítico que representasse o comportamento do SMS numa situação de aviso à população. O modelo foi utilizado para obter estimativas do tempo necessário para enviar avisos à população utilizando mensagens curtas em duas situações: num cenário de rutura das barragens de Alqueva e Pedrógão; e, num cenário de inundação na Ria de Aveiro. Os cenários foram escolhidos para serem representativos de diferentes tipos de desastre e de situações onde a estrutura da rede móvel é distinta. O cenário para Alqueva-Pedrógão foi escolhido por afetar uma zona rural, com uma baixa densidade populacional e onde as células das redes móveis cobrem grandes áreas. O cenário para a Ria de Aveiro foi escolhido por afetar uma zona com uma média densidade populacional e onde as células das redes móveis cobrem áreas de média dimensão.

6.4.2. Síntese da Metodologia

A metodologia desenvolvida segue os passos que se listam a seguir:

- **Determinação das zonas de risco e do tempo máximo para o aviso em cada uma delas.** Com base nos estudos existentes para os cenários de desastre, identificaram-se as zonas de risco e estabeleceu-se um tempo máximo para avisar a população afetada em cada zona.
- **Determinação da localização das estações base.** A obtenção de dados sobre a localização das estações base através dos operadores, foi inviável nalguns casos (Optimus) e noutros casos verificou-se que os dados fornecidos estavam incompletos (TMN e Vodafone). Para ultrapassar esta situação, recolheram-se dados relativos à potência do sinal de rádio nas zonas de riscos anteriormente identificadas e utilizou-se um conjunto de técnicas para estimar a localização das estações base.
- **Determinação da área de cobertura das células.** As localizações das estações base assim obtidas foram utilizadas para determinar a área de cobertura das células. A área de cobertura foi calculada de forma a garantir o envio do aviso a toda população presente na zona de risco e a minimizar o envio do aviso à população fora da zona de risco.
- **Determinação da população residente na área de cobertura das células.** Com base nas áreas de cobertura determinadas no passo anterior, determinou-se a população

residente, por grupos etários, em cada subsecção estatística. Em seguida, agregou-se a população residente por área de cobertura.

- **Determinação dos utilizadores de cada infraestrutura de rede na área de cobertura da célula.** Estimou-se a população de utilizadores de cada infraestrutura de rede com base na população residente na área de cobertura. Para esta estimativa, consideraram-se dois cenários de utilização de telemóveis por parte da população: um cenário otimista e um pessimista.
- **Determinação do tempo necessário para avisar.** Com base nas características populacionais da zona de risco e na população a avisar, estimou-se o tempo necessário para avisar os utilizadores das infraestruturas de rede.

Os passos acima listados serão detalhados em secções subseqüentes. O primeiro passo, relativo à determinação das zonas de risco, será pormenorizado individualmente para cada cenário de desastre.

6.4.3. Dados Obtidos

6.4.3.1. Quotas de mercado por infraestrutura de rede móvel

Em Portugal existem, presentemente, seis prestadores de comunicações móveis GSM em atividade, três na modalidade de operador de rede e três na modalidade de operador móvel virtual.

Os operadores de rede móvel (*Mobile Network Operator – MNO*) são operadores que detêm espectro eletromagnético e a sua própria infraestrutura de rede, atuando ao nível de grossista e retalhista na oferta de serviços de comunicações móveis. Os três operadores portugueses que possuem a sua própria infraestrutura de rede são a Sonaecom – Serviço de Comunicações (marca Optimus), a TMN – Telecomunicações Móveis Nacionais (marca TMN) e a Vodafone Portugal – Comunicações Pessoais (marca Vodafone).

Os operadores móveis virtuais (*Mobile Virtual Network Operator – MVNO*) são operadores que não possuem direitos de utilização de frequências nem conseqüentemente, infraestruturas associadas à rede rádio, suportando as suas ofertas comerciais em meios rádio dos operadores de rede móvel detentores dos respetivos direitos de utilização. Os operadores móveis virtuais

atuam no mercado de retalho, possuindo a liberdade de se diferenciar comercialmente do operador de rede em que se suportam.

Existem dois modelos de operadores móveis virtuais consoante a utilização de mais ou menos infraestruturas próprias: o MVNO *light* e o MVNO *full*.

Um MVNO *light* caracteriza-se por possuir um número nulo ou reduzido de elementos de infraestrutura de rede, assegurando todavia os meios comerciais que lhe permitem controlar a sua relação com o cliente final. Tipicamente possui a capacidade de emitir cartões SIM e recorre a plataformas próprias de faturação e de valor acrescentado que permitem controlar a relação com o cliente.

Um MVNO *full*, para além dos elementos que caracterizam um MVNO *light*, possui diversos elementos da rede de comutação, como sejam centrais telefónicas móveis e os registos de assinantes. Um MVNO *full* só não detém o direito de utilização de frequências nem possui os elementos da rede rádio, o que o diferencia de um operador de rede móvel.

Os operadores móveis virtuais só recentemente apareceram no mercado nacional, podendo todos ser qualificados como MVNO *light*. Em novembro de 2007, os CTT – Correios de Portugal (marca Phone-ix) iniciaram a sua atividade como operador virtual móvel utilizando a infraestrutura da TMN. Mais tarde, surgiram a ZON – TV Cabo Portugal (marca ZON Mobile) e a Lycamobile Portugal (marca Lycamobile) que utilizam a infraestrutura da Vodafone.

O mercado de comunicações móveis tem-se caracterizado, nos últimos anos, por flutuar pouco em termos de quotas de mercado, desde a consolidação da quota de mercado pela Optimus em 2002.

No final de 2012, a quota do líder de mercado, a TMN, medida em termos de telemóveis efetivamente utilizados⁴, valia 43,5%. O segundo operador, a Vodafone, detinha uma quota de 41,6%. O terceiro operador, a Optimus, apresentava uma quota mais baixa, com um valor de 13,4%, enquanto que os restantes operadores detinham quotas marginais (Tabela 15)

⁴ Equipamentos móveis com direito a efetuar ou receber chamadas em que se tenha observado tráfego no último mês do ano, excluindo-se os *modems* e os equipamentos associados a máquinas.

Tabela 15 - Quotas de mercado por prestador de comunicações móveis (Anacom, 2013a)

Operador	Lycamobile	Optimus	Phone-ix	TMN	Vodafone	Zon
Quota (%)	0,4	13,4	0,4	43,5	41,6	0,6

Caso se agreguem as quotas dos prestadores de comunicações móveis por infraestrutura de rede utilizada, observam-se algumas alterações, que não são suficientes para mudar o posicionamento relativo dos operadores de rede. Verifica-se que a quota de mercado da Vodafone, a segunda infraestrutura mais utilizada, se aproxima da TMN, a infraestrutura líder, e que a Optimus permanece como terceira infraestrutura.

Tabela 16 - Quotas de mercado por infraestrutura de rede (Anacom, 2013a)

Infraestrutura	Optimus	TMN	Vodafone
Quota (%)	13,4	43,9	42,6

6.4.3.2. Taxa de penetração do serviço móvel

Em 2012, existiam em Portugal cerca de 16,8 milhões de equipamentos que podiam usufruir do serviço móvel. Destes, 13,3 milhões de equipamentos móveis foram efetivamente utilizados no último mês do ano. Excluindo-se os *modems* utilizados para aceder à Internet e os equipamentos associados à transferência de dados provenientes de máquinas remotas (*Machine to Machine – M2M*), os equipamentos móveis ativos seriam cerca de 12,1 milhões (Anacom, 2013a).

A taxa de penetração do serviço móvel atingiu os 159,3 equipamentos móveis por 100 habitantes. Se considerarmos apenas os equipamentos móveis com utilização efetiva, a taxa de penetração reduzir-se-ia para 125,8 por 100 habitantes. Excluindo-se os *modems* para acesso à Internet e os equipamentos associados a aplicações M2M, a taxa de penetração desceria para 114,4 por 100 habitantes.

6.4.3.3. Taxa de penetração de telemóvel

As taxas de penetração consideradas na secção anterior são determinadas com base no número de telemóveis existentes, não correspondendo, portanto, à taxa de posse de telemóvel pelas pessoas.

Os resultados mais recentes, relativos a dezembro de 2012, mostram que 92,8% dos indivíduos com idade superior a 10 anos residentes em Portugal possuíam ou utilizavam o telemóvel (Anacom, 2013a). A diferença entre este último valor, correspondente à taxa de penetração de telemóvel, e a taxa de penetração do serviço móvel advém de existirem utilizadores que dispõem de diversos equipamentos móveis.

A evolução da taxa de penetração de telemóvel indica que houve uma intensificação da utilização de telemóvel entre 2004 e 2012, tendo ocorrido um aumento de mais de 16 pontos percentuais (passando de 76,6% para 92,8%) (Marktest, 2012; Anacom, 2013a).

Tabela 17 - Evolução da taxa de penetração de telemóvel

Ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Taxa (%)	76,6	81,2	81,2	87,6	88,7	90,7	92,5	92,0	92,8

A análise da taxa de penetração de telemóvel por grupo etário relativa a dezembro de 2011 revela que para os mais novos o telemóvel é um equipamento muito utilizado. Observa-se que 90,3% dos jovens entre os 10 e os 14 anos utilizam o telemóvel.

É no entanto entre os indivíduos que têm entre 25 e 44 anos que se verifica uma generalização da utilização do telemóvel, atingindo valores superiores a 99%.

De uma maneira geral o telemóvel tem uma penetração bastante homogênea entre a população residente, sendo apenas os indivíduos com mais de 64 anos que apresentam uma taxa significativamente inferior (69,9%) (Tabela 18).

Tabela 18 - Taxa de penetração de telemóvel por grupo etário em 2011 (Marktest, 2012)

Idade (anos)	10-14	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	+64
Taxa (%)	90,3	98,6	99,5	99,1	97,3	91,2	69,9

Mesmo assim, esta taxa mostra que houve uma quase duplicação de valores entre 2004 e 2011, quando apenas 40,9% dos indivíduos naquele grupo etário possuíam telemóvel.

6.4.4. Detalhes da Metodologia

6.4.4.1. Determinação da localização das estações base

A localização das estações base numa rede móvel constitui um dos parâmetros que se identificaram como necessários para poder estimar a cobertura das células. Estes dados mostraram ser de difícil obtenção ou incompletos.

Apesar de existirem diversos reguladores europeus (Áustria, França, Alemanha, Malta, Países Baixos, Suíça e Reino Unido) que disponibilizam esta informação, o regulador português recusou-se a fornecer os dados, por ter o entendimento que eram confidenciais.

As tentativas junto aos operadores de rede móvel produziram diferentes resultados. Os contactos com a Optimus mostraram-se infrutíferos. A TMN forneceu dados de uma parte do Norte de Portugal fora das zonas de risco dos cenários em análise. A Vodafone forneceu dados que abrangiam todo o território nacional que se revelaram incompletos.

Assim, devido às características dos dados fornecidos, procurou-se identificar um método que permitisse obter estimativas da localização das estações base.

As abordagens descritas na literatura para estimar a localização de uma estação base envolvem medir o tempo de chegada do sinal, medir o ângulo de chegada do sinal ou medir a potência do sinal. Seguidamente, descrevem-se os métodos propostos e analisam-se os seus pontos fracos e fortes.

Os métodos baseados na medição do tempo de chegada baseiam-se no conhecimento de que a velocidade de propagação das ondas de rádio é constante (velocidade da luz). Para que estes métodos funcionem é necessário que os relógios das estações base e do telemóvel estejam sincronizados e que ambos possuam uma precisão temporal elevada. É um método extremamente difícil de ser executado, uma vez que um erro de sincronização de 1 microssegundo causa um erro de localização de 300 metros.

Os métodos baseados na medição do ângulo de chegada do sinal utilizam técnicas de recolha de dados mais sofisticadas (Subramanian et al., 2008). A medição do ângulo de chegada do sinal requer que a receção do sinal seja obtida através de uma antena direcional orientável. Embora estas técnicas permitam obter boas precisões, o custo da antena direcional tornam os métodos dispendiosos (Zhang et al., 2011).

Os métodos baseados na medição da potência do sinal recorrem à obtenção de medições da potência presente no sinal de rádio recebido (*Received Signal Strength Indication* – RSSI) em diferentes localizações. Baseiam-se nas características de propagação do sinal de rádio que se torna mais fraco à medida que aumenta a distância da fonte emissora. No entanto, em ambientes reais o sinal de rádio chega ao recetor através de um caminho direto, caso exista

uma linha de vista, e indiretamente através de reflexões e difrações em árvores, edifícios, montanhas e outros objetos altos. Os componentes desta propagação multipercurso (*multipath propagation*) percorrem distâncias diferentes e chegam ao recetor em instantes diferentes com níveis de energia diferentes, causando grandes variações na potência do sinal recebido. Tais características da propagação do sinal rádio dificultam que se obtenha estimativas de localização com erros baixos. Estas técnicas de medição possuem como vantagens serem de baixo custo e de fácil implementação.

Ponderadas as vantagens e desvantagens das abordagens atrás descritas, concluiu-se que uma abordagem que envolvesse a medição da potência do sinal seria a melhor opção.

Uma abordagem possível consiste em utilizar um sensor que registre as potências do sinal diretamente no ambiente natural. Os dados podem ser recolhidos percorrendo a área de interesse a pé ou num veículo. Com base nos dados obtidos, pode-se estudar a distribuição da potência dos sinais medidos para estimar algumas características da rede móvel. É um método de recolha de dados descrito na literatura para emissores de rádio em ambientes interiores (Hightower et al., 2001; Otsason et al., 2005) e exteriores (Bulusu et al., 2000; Krumm et al., 2003).

A recolha de medições num ambiente natural possui a desvantagem de reduzir fortemente a capacidade de controle do ambiente. As experiências devem ser concebidas de forma a reduzir a contribuição de outras variáveis independentes.

A recolha de medições da potência do sinal, no âmbito deste trabalho, foi feita monitorizando passivamente os canais de sinalização em diferentes localizações utilizando um veículo (prática designada por *wardriving*). O equipamento de medição foi constituído por dois *smartphones* Samsung Galaxy Mini S5570 (Fig. 37) com sistema operativo Android 2.2, equipados com um recetor GPS de 12 canais (gpsOne Gen 7) e um cartão de memória micro SD de 2GB.



Fig. 37 - *Smartphone* utilizado na recolha de dados

O *software* de recolha de dados utilizado foi o inViu OpenCellID (Fig. 38), um programa que permite registar a potência do sinal da célula. Possibilita o registo do instante da recolha, informações relativas à célula (país, operador, área de localização, identificação da célula), ponto de medição e potência do sinal.

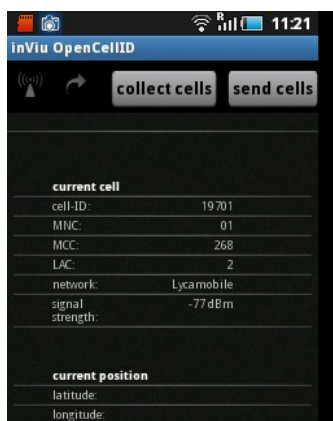


Fig. 38 - Programa utilizado na recolha de dados

Dada a possibilidade da existência de fenómenos que pudessem afetar a recolha de dados tomaram-se algumas precauções. Para minimizar a probabilidade de registo de dados com anomalias foram adotadas as seguintes precauções:

- Condições de registo – As medições das potências do sinal foram feitas utilizando um veículo, em condições de céu limpo, a uma velocidade constante, com os telemóveis sempre à mesma altura e na mesma posição relativamente ao veículo;
- Deteção de erros nos registos – Os telemóveis utilizados nas experiências foram previamente verificados para determinar qualquer tipo de falha e periodicamente examinados para verificar se os registos decorriam normalmente.

As medições obtidas foram analisadas estatisticamente, utilizando o Gnumeric, e espacialmente utilizando o Quantum GIS e ArcGIS. As estatísticas incluíram a média, desvio padrão, mediana (50%) e os percentis 67% e 95% do erro de localização.

O erro de localização foi definido como a diferença entre a localização real (x_{real}, y_{real}) e a localização estimada (x_{est}, y_{est}).

$$e = \sqrt{(x_{est} - x_{real})^2 + (y_{est} - y_{real})^2} \quad (1)$$

Em seguida descrevem-se alguns dos métodos encontrados na literatura para estimar a localização de um emissor a partir das medições da potência do sinal, propõe-se um novo método e comparam-se as precisões dos diferentes métodos.

O primeiro método proposto na literatura é conhecido como Localização pelo Centróide (*Centroid Localization – CL*). A primeira utilização do algoritmo foi feita por Bulusu et al. (2000) em redes sem fios 802.11. Dado um conjunto de medições ($x_i, y_i, RSSI_i$) de um emissor de rádio, a Localização por Centróide estima a localização do emissor na seguinte posição

$$\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right) \quad (2)$$

onde N corresponde ao número de medições.

Um ano mais tarde, Berg (2001) propôs que se adicionasse uma ponderação a cada medição de forma a que as medições com sinais mais fortes tivessem um peso maior, sendo este método conhecido como Localização pelo Centróide Ponderado (*Weighted Centroid Localization – WCL*).

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \right) \quad (3)$$

onde w_i corresponde ao peso associado à localização da medição. Os pesos w_i dependem da potência do sinal recebido e das características dos emissores.

A Trilateração de Potência utiliza uma abordagem diferente (Savvides et al., 2007) . Estima a distância da antena utilizando medições do sinal de potência e um modelo de propagação do

signal rádio. Por exemplo, a potência do sinal recebido pode ser convertida numa distância utilizando a fórmula de propagação do sinal de rádio no ar

$$RSSI = 20 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \quad (4)$$

onde RSSI é a potência do sinal, d a distância à antena e λ o comprimento de onda do sinal.

Apesar da sua simplicidade, os algoritmos baseados na centróide comportam-se melhor que os algoritmos baseados em modelos de propagação do sinal rádio (Kim et al., 2006; Subramanian et al., 2008), pelo que estes não serão incluídos na comparação.

Tal deve-se, a que as condições de propagação em ambientes reais são muito diferentes das existentes em ambientes laboratoriais. Num ambiente real, a energia do sinal rádio chega ao recetor através de um caminho direto, caso exista uma linha de vista, e indiretamente através de reflexões e difrações em edifícios, montanhas, colinas e outros objetos altos. Os componentes desta propagação multipercurso (*multipath propagation*) percorrem distâncias diferentes e chegam ao recetor em instantes diferentes com níveis de energia diferentes, causando grandes variações na potência do sinal recebido. Tais características da propagação do sinal rádio causam erros substanciais nas estimativas de localização.

A ideia principal do algoritmo que se propõe, consiste em estimar a localização da antena da célula utilizando as medições dos sinais das células que pertençam à mesma estação base. Por ser uma variação da Localização pelo Centróide Ponderado, chamou-se Localização pelo Centróide Ponderado da Estação Base (*Weighted Centroid Localization of Base Station – WCLBS*). A ideia baseia-se no conhecimento de que quando as estações base possuem células sectorizadas, as células deverão estar todas na mesma localização. Tira-se partido do registo da identificação das células (*Cell Id*) durante o processo de monitorização dos sinais para identificar as estações base com células sectorizadas.

É possível identificar as estações base com células sectorizadas devido à utilização de padrões de identificação por parte dos operadores nas células pertencentes à mesma estação base. Feita a identificação da estação base com células sectorizadas, a estimativa da localização da estação base é dada pelo centróide ponderado das medições efetuadas nas diversas células sectorizadas pertencentes à estação base. Para uma estação base com três células sectorizadas $C1$, $C2$ e $C3$, a estimativa da localização da estação base é dada por:

$$\left(\frac{\sum w_{i_{c1}} \cdot x_{i_{c1}} + \sum w_{i_{c2}} \cdot x_{i_{c2}} + \sum w_{i_{c3}} \cdot x_{i_{c3}}}{\sum w_{i_{c1}} + \sum w_{i_{c2}} + \sum w_{i_{c3}}}, \frac{\sum w_{i_{c1}} \cdot y_{i_{c1}} + \sum w_{i_{c2}} \cdot y_{i_{c2}} + \sum w_{i_{c3}} \cdot y_{i_{c3}}}{\sum w_{i_{c1}} + \sum w_{i_{c2}} + \sum w_{i_{c3}}} \right) \quad (5)$$

onde w_i corresponde ao peso da localização da medição. O peso é proporcional à potência do sinal e aumenta exponencialmente por cada mudança de nível da potência

$$w_i = g^{RSSI_i} \quad (6)$$

onde RSSI é a potência do sinal e g é dependente do ambiente de propagação do sinal. Esta função para os pesos foi sugerida por Blumenthal et al. (2007), após ter identificado que a potência do sinal está correlacionada com a distância ao emissor de forma exponencial.

Para avaliar a precisão da localização dos emissores obtida com os diferentes métodos foi necessário comparar as estimativas dos diversos métodos com a localização real dos emissores.

A localização real das estações base foi obtida com base nos dados fornecidos pela Vodafone, cujos registos incluem a posição geográfica (no sistema de coordenadas WGS84 (*Worldwide Geodetic System 1984*)) e uma descrição toponímica (Tabela 19).

Tabela 19 - Extrato da localização das estações base da Vodafone

Latitude	Longitude	Descrição Toponímica
41.15874	-8.63100	PORTO Casa da Música
41.09195	-7.79639	LAMEGO Seminário Maior de Lamego, Sé
40.74071	-7.89017	LORDOSA Junto da Torre da Optimus
39.82959	-7.49074	CASTELO BRANCO NORTE Auto Mecânica da Beira
38.75634	-9.14628	AVENIDA DO BRASIL Roma
37.95950	-8.88014	SINES NOROESTE Farol de Sines

Seguidamente, procurou-se determinar se a estação base se mantinha operacional e se a posição registada correspondia à posição real. Uma vez que o processo de validação escolhido é notoriamente moroso não se realizou esta operação para todas as estações base incluídas nos dados fornecidos pela Vodafone. Ao invés, apenas se validou um subconjunto de estações na vizinhança alargada das zonas de riscos dos cenários de desastre.

No caso das estações base que se encontravam nas proximidades do percurso de recolha de medições de potência do sinal, fez-se uma visita à estação base, e registaram-se as coordenadas geográficas da estação base utilizando o GPS.

Para os restantes casos, introduziram-se as coordenadas geográficas no Google Maps, e com recurso à ferramenta *Street View*, examinou-se o local para identificar a presença de uma estação base. Quando a estação base foi identificada, determinou-se a sua posição utilizando os seguintes passos:

- 1º passo – Centrar o mapa na estação base (clique a estação base com o botão do lado direito do rato e selecione a opção do menu Center map here);
- 2º passo – Copiar a latitude e longitude do centro do mapa (clique a opção Link com o botão do lado direito e selecione a opção do menu Copy Link Location).

Para cada estação base encontrada através de um dos métodos descritos, classificou-se a área de cobertura como sendo rural (caso se localizasse em áreas esparsamente povoadas), suburbana (caso se localizasse em áreas com um densidade populacional média) ou urbana (caso se localizasse em áreas com uma elevada densidade populacional). Como nas vizinhanças das zonas de risco consideradas nos cenários estudados não existiam áreas com uma elevada densidade populacional, nenhuma das estações base foi identificada como estando numa zona urbana.

Na primeira fase da análise determinou-se a média, desvio padrão, mediana e percentis 67% e 95% do erro de localização utilizando a Localização pelo Centróide para estações base em zonas rurais e suburbanas.

Tabela 20 - Erro de localização utilizando a Localização pelo Centróide

	Rural (metros)	Suburbano (metros)
<i>Média</i>	2345	465
<i>Desvio Padrão</i>	1381	361
<i>Mediana</i>	2135	400
<i>p67</i>	2707	648
<i>p95</i>	4442	648

Os dados desta tabela permitem concluir que os erros de localização, utilizando a Localização pelo Centróide são consideravelmente maiores em zonas rurais do que em zonas suburbanas. Esta situação não se pode considerar surpreendente, uma vez que em zonas rurais são tipicamente utilizadas macrocélulas omnidirecionais (cujos raios de cobertura podem chegar aos 35 km), enquanto que em zonas suburbanas são tipicamente utilizadas microcélulas setorizadas (cujos raios de cobertura são de apenas alguns quilómetros).

Numa segunda fase, determinaram-se as mesmas grandezas estatísticas para os outros dois métodos: Localização pelo Centróide Ponderado e Localização pelo Centróide Ponderado de Estação Base. Em ambos métodos, utilizaram-se pesos que aumentam exponencialmente com o aumento da potência do sinal e determinou-se a base g que caracteriza a propagação do sinal, de forma a minimizar os erros de localização (zonas rurais=1,6, zonas suburbanas=1,3).

Tabela 21 - Comparação de erros de localização numa zona rural

Zona Rural	Centróide (metros)	Centróide Ponderado (metros)	Centróide Ponderado de Estação Base (metros)
<i>Média</i>	2345	652	531
<i>Desvio Padrão</i>	1381	545	395
<i>Mediana</i>	2135	401	401
<i>p67</i>	2707	638	534
<i>p95</i>	4442	1710	1162

É visível pela observação dos valores da precisão dos diversos métodos que o método com melhor precisão é a Localização pelo Centróide Ponderado de Estação Base (WCLBS). O WCLBS é claramente superior à Localização pelo Centróide (CL), pois reduz de forma muito significativa as diversas estatísticas dos erros de localização (entre 60 a 80%). O WCLBS é superior ao WCL pois reduz também os erros de localização ao nível da média (19%), desvio padrão (28%), percentil 67% (16%) e percentil 95% (32%).

Tabela 22 - Comparação de erros de localização numa zona suburbana

Suburbana	Centróide (metros)	Centróide Ponderado (metros)	Centróide Ponderado de Estação Base (metros)
<i>Média</i>	465	229	127
<i>Desvio Padrão</i>	361	141	143
<i>Mediana</i>	400	240	28
<i>p67</i>	648	274	202
<i>p95</i>	648	274	202

A observação desta última tabela permite chegar à conclusão que WCLBS é claramente superior ao CL, pois reduz os erros de localização entre 69 a 93%. A comparação do WCLBS com o WCL favorece o primeiro, pois os erros reduzem-se entre 26 a 88%, com excepção do desvio padrão (piora 2%).

6.4.4.2. Determinação da área de cobertura das células

A estrutura espacial de uma rede móvel é determinada pela potência de transmissão, altura da antena, perdas de potência devido ao aumento da distância percorrida (*path loss*), topografia e outras características do ambiente que afetam a propagação do sinal.

Como consequência, um modelo detalhado da estrutura espacial de uma rede móvel exigiria a consideração desta multiplicidade de fatores que afeta a propagação do sinal. Este grau de detalhe revela-se impraticável para uma rede móvel real.

A modelação tradicionalmente utilizada para a estrutura espacial é a tesselação hexagonal onde cada hexágono corresponde a uma célula de uma rede, i.e. à área geográfica coberta por uma única célula. Apesar de muito simples, esta modelação é utilizada pelos operadores no planeamento de frequências. Revela-se, no entanto, um modelo inapropriado para analisar eventos de sinalização (e.g. *handovers*, mudanças na área de localização ou *pagings*).

Uma abordagem estocástica consiste em modelar a localização das células como provenientes de um Processo de Poisson, conduzindo à existência de células com localizações independentes (Fleming et al., 1997; Brown, 2000). Utilizando esta premissa a estrutura espacial de uma rede móvel pode ser descrita por uma tesselação Poisson-Voronoi. Este modelo pode ser utilizado para analisar a capacidade de tráfego da rede móvel.

Uma abordagem alternativa, baseada no modelo de propagação COST-Hata, é proposta por Portela e Alencar (2008). A estrutura espacial do modelo é descrita por um diagrama multiplicativo de Voronoi de ordem k , onde a potência de transmissão, a altura da antena e algumas características de propagação do sinal de rádio são utilizadas como variáveis para estabelecer a fronteira entre células adjacentes. Ao contrário da tesselação hexagonal, o diagrama multiplicativo de Voronoi de ordem k permite incorporar alguns fatores explicativos da estrutura espacial real. É, no entanto, uma abordagem difícil de utilizar, uma vez que é necessário conhecer a localização das estações base, a altura das antenas e a potência de transmissão. O modelo tem a vantagem de poder ser utilizado para determinar a cobertura das células e analisar o comportamento de diversos eventos de sinalização (e.g. *handovers*, mudanças na área de localização ou *pagings*).

Dadas as limitações existentes nos dados sobre as células que não incluem a altura das antenas, nem a potência de transmissão, optou-se por modelar a estrutura espacial da rede através de uma tesselação de Voronoi. A opção escolhida assume que a potência de transmissão das antenas é igual e negligencia os efeitos da propagação multipercurso.

A tesselação de Voronoi (ou diagrama de Voronoi) é uma decomposição de um espaço bidimensional Euclidiano em polígonos convexos, a partir de uma rede de pontos. Cada ponto fica associado a um único polígono de Voronoi. O polígono de Voronoi de um ponto é constituído pelo espaço cuja proximidade a esse ponto é menor que qualquer outro ponto da rede. Para uma rede móvel, as localizações das células constituem os pontos a partir do qual se pode gerar a tesselação de Voronoi.

No entanto, antes de se aplicar a tesselação de Voronoi às localizações estimadas das células foi necessário corrigir a posição de algumas células. Foram feitas correções às posições das células setorizadas, para evitar que a tesselação de Voronoi associasse um único polígono às células da mesma estação base, que como consequência do método de estimação utilizado ficam na mesma posição.

A distribuição da potência do sinal sugere a direção para o qual a correção deve ser feita. Pode-se observar que as medições das células da estação base convergem para a estação base, mas que o conjunto de medições associado a cada célula se agrupa distintamente (Fig. 39).

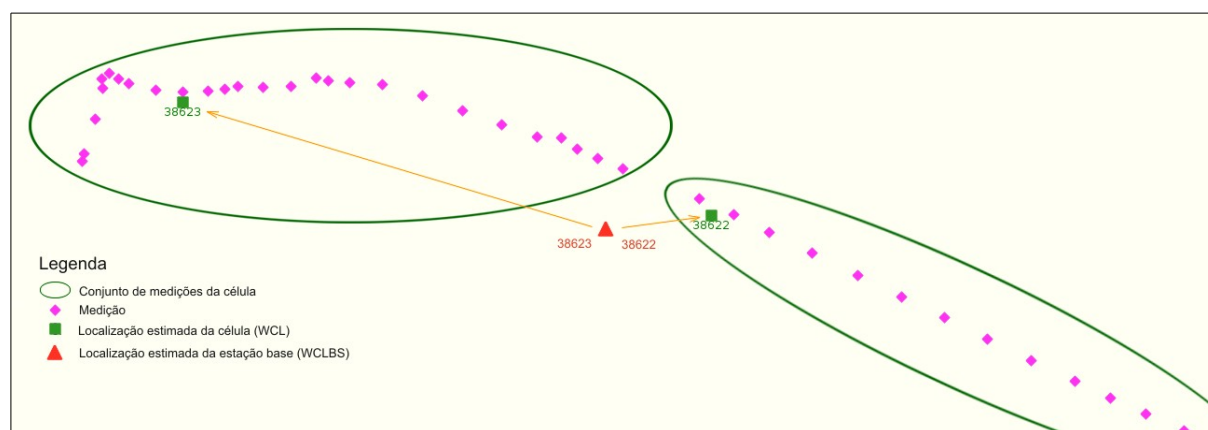


Fig. 39 - Distribuição da potência do sinal de uma estação base com duas células

Nota-se, em particular, que o conjunto de medições associadas a cada célula aponta na direção da localização estimada da mesma célula pelo método WCL. Baseado nesta observação as localizações das células setorizadas foram todas corrigidas 1m nessa direção.

6.4.4.3. Determinação da população residente na área de cobertura das células

A análise demográfica foi a forma que se encontrou para estimar a população residente na área de cobertura das células. Com base em alguns cálculos estatísticos adicionais foi também possível determinar a composição populacional por grupo etário na área de cobertura da célula.

Utilizando as zonas de risco identificadas nas avaliações dos riscos associados aos cenários de desastres considerados neste trabalho identificaram-se as células envolvidas no envio do aviso. Foi apenas para estas últimas que se calcularam as estatísticas populacionais.

Para este cálculo utilizou-se a informação recolhida nos Censos 2011, pelo Instituto Nacional de Estatística, desagregada à subsecção estatística. Para além disso, utilizou-se a informação geográfica produzida pelo INE (Base Geográfica de Referenciação da Informação) e a cartografia relativa à área de cobertura das células.

Para se estimar o número de pessoas contidas em zonas não coincidentes com os polígonos das zonas censitárias, procedeu-se a um cálculo por interpolação com base na área. Assume-se aqui uma densidade constante em cada zona censitária, que na realidade nem sempre se verifica.

A população por escalões etários agregados (10-14 anos, 15-24 anos, 25-34 anos, 35-44 anos, 45-54 anos, 55-64 anos e mais de 65 anos) foi estimada por interpolação com base na estrutura existente ao nível da freguesia.

6.4.4.4. Determinação dos utilizadores de uma infraestrutura de rede na área de cobertura da célula

As estimativas do número de utilizadores existentes na área de cobertura das células foram obtidas recorrendo a dados e cálculos estatísticos.

Para esta estimativa utilizaram-se os dados relativos à população residente por célula, população por escalão etário agregado, taxas de penetração do serviço móvel, taxas de penetração de telemóvel e quotas de mercado por infraestrutura.

Assumem-se tacitamente que as taxas de penetração do serviço móvel, as taxas de penetração de telemóvel e as quotas de mercado por infraestrutura ao nível da área de cobertura da célula não difiram das medidas a nível nacional.

6.4.4.5. Determinação do tempo necessário para avisar

O tempo necessário para enviar o aviso à população está claramente dependente do dimensionamento dos elementos da rede envolvidos na entrega do SMS aos telemóveis na zona do aviso.

Os elevados custos envolvidos na exploração de uma rede móvel levam a que os operadores dimensionem os elementos da rede para suportar o tráfego diário habitual. O dimensionamento dos elementos de rede é feito de forma a suportar o tráfego na hora de ponta (hora que em que ocorre um maior número de chamadas). É excessivamente custoso para os operadores dimensionar a redes para situações com uma elevada intensidade de tráfego que ocorrem raramente. Situações em que exista a expectativa de um elevado tráfego, como eventos desportivos em que estejam presentes grandes multidões, são suportados através de um ajustamento temporário da capacidade da rede. O crescimento a prazo da rede é planeado com base em métricas como as taxas de utilização das ligações, as taxas de processamento e as taxas de bloqueamento que são constantemente monitorizadas.

No caso do aviso à população, existem diversos elementos na rede de acesso rádio que podem limitar o tráfego de mensagens. Os procedimentos envolvidos na receção de uma mensagem pelo telemóvel utilizam quatro canais de sinalização: o canal de *paging* (PCH), o canal de acesso aleatório (RACH), o canal AGCH e os canais SDCCH (Fig. 40).

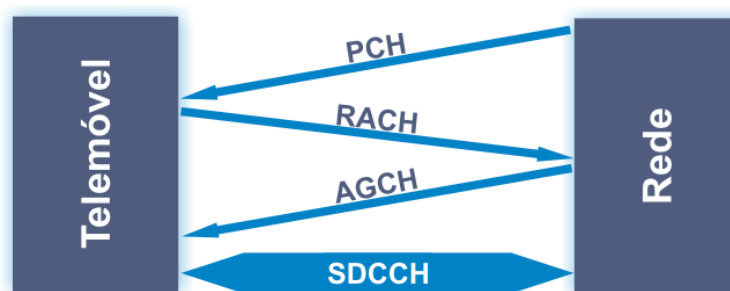


Fig. 40 - Canais de sinalização utilizados na recepção de uma mensagem

O canal de *paging* (PCH) é utilizado pela rede para encontrar o telemóvel. Em seguida, o telemóvel solicita a atribuição de um canal SDCCH através do canal de acesso aleatório (RACH). Subsequentemente, a rede responde ao pedido do telemóvel, através do canal AGCH, indicando o canal SDCCH atribuído. As restantes operações entre a rede e o telemóvel são feitas no canal SDCCH e incluem, para além da transmissão do conteúdo da mensagem, a troca de pacotes onde se procede à autenticação do telemóvel, à negociação da encriptação e à atribuição de identificadores para tornar anónima a chamada. Todo o processo demora cerca de 4 segundos (NCS, 2003). Atendendo a que os canais de sinalização possuem o mesmo débito binário (782 bits/s) e as operações que geram mais tráfego ocorrem nos canais SDCCH, ir-se-á considerar o canal SDCCH como sendo o elemento de rede que mais limita o tráfego de mensagens.

A forma habitual para dimensionar os canais de voz numa rede de telecomunicações é utilizar a fórmula de Erlang-B que associa um número de canais e uma taxa de bloqueamento ao número de chamadas concorrentes suportadas pelos canais (cuja unidade é o Erlang). Tradicionalmente, nas redes GSM, assume-se uma taxa de bloqueamento de 2%. Uma taxa de bloqueamento de 2% indica que duas chamadas em cem serão bloqueadas devido à congestão dos canais de voz.

Tabela 23 - Chamadas suportadas em função do número de canais existentes

Número de Canais	Tráfego em Erlang			
	0.1%	0.2%	1.0%	2.0%
1	0.001	0.002	0.010	0.020
2	0.046	0.065	0.153	0.223
3	0.194	0.249	0.455	0.602
4	0.439	0.535	0.869	1.09
5	0.762	0.900	1.36	1.66
6	1.15	1.33	1.91	2.28
7	1.58	1.80	2.50	2.94
8	2.05	2.31	3.13	3.63
9	2.56	2.85	3.78	4.34
10	3.09	3.43	4.46	5.08
11	3.65	4.02	5.16	5.84
12	4.23	4.64	5.88	6.61
13	4.83	5.27	6.61	7.40
14	5.45	5.92	7.35	8.20
15	6.08	6.58	8.11	9.01

No entanto, o bloqueamento de chamadas de voz pode também ocorrer devido à falta de canais de sinalização. Daqui resulta que o dimensionamento dos canais de sinalização seja derivado da taxa de bloqueamento dos canais de voz.

Uma possibilidade consiste em dimensionar os canais de sinalização com um baixa taxa de bloqueamento, por exemplo 0,2%, que conduz a um sobredimensionamento dos canais de sinalização (Navarro et al, 2002). A segunda possibilidade consiste em utilizar heurísticas, obtidas através da experiência de operar redes, relativas ao dimensionamento de cada um dos canais de sinalização. A terceira possibilidade consiste em dimensionar de forma automática os canais de sinalização (e.g utilizando a opção *Adaptive Configuration Logical Channel* seriam adicionados 8 canais SDCCH por reconfiguração de um canal de voz, quando o tráfego SDCCH fosse elevado, que seria revertido logo que o tráfego SDCCH descesse).

Dada a dificuldade de determinar o número de canais SDCCH alocados em cada célula, utilizou-se a heurística indicada por Hasija (2007), que propõe que deverão existir 8 canais SDCCH em cada célula quando se pretende 0,5% de taxa de bloqueamento para os canais de sinalização. É um dimensionamento conservador porque não utiliza uma taxa de bloqueamento de 0,2%, que sobredimensiona os canais de sinalização, nem tira partido do dimensionamento automático dos canais de sinalização (por se desconhecer se essa funcionalidade está presente nas redes portuguesas). Por outro lado, reduzir o

dimensionamento para uma taxa de 1% conduziria, no caso de Portugal, onde o regulador exige que a taxa de bloqueamento para os canais de voz seja 1% (Anacom, 2010b; Anacom, 2010c; Anacom, 2012), a situações em que ocorreriam bloqueios dos canais de voz devido à falta de canais de sinalização, dando origem a perdas de receitas aos operadores.

6.4.5. Rutura das Barragens de Alqueva e Pedrógão

6.4.5.1. Determinação das zonas de risco

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva é constituído por um conjunto de obras localizadas na região do Alentejo, no sul de Portugal, concebidas primordialmente para garantir o abastecimento de água às populações e rega aos campos agrícolas. Do conjunto fazem parte a barragem de Alqueva, a principal infraestrutura, e a barragem de Pedrógão.

A barragem de Alqueva (Fig. 41), concluída em 2002, situa-se no rio Guadiana, no troço entre as confluências dos rios Degebe e Ardila, a cerca de 10 km a Noroeste de Moura. É uma barragem com uma altura de 96 m acima do leito do rio que possui uma albufeira com uma capacidade de 4 150 milhões de metros cúbicos.



Fig. 41 - Barragem de Alqueva

A albufeira da barragem forma o maior lago artificial da Europa, ocupando uma área de 250 km², entre Espanha e Portugal (Viseu et al., 2007). A zona portuguesa situa-se na região do Alentejo, enquanto que a zona espanhola está na província de Badajoz.

A barragem de Pedrógão (Fig. 42), concluída em 2005, é uma barragem de menores dimensões, localizada a Este de Beja, cerca de 24 km a jusante da barragem de Alqueva. Possui uma altura de 39 metros e tem uma albufeira com capacidade de 54 milhões de metros cúbicos.

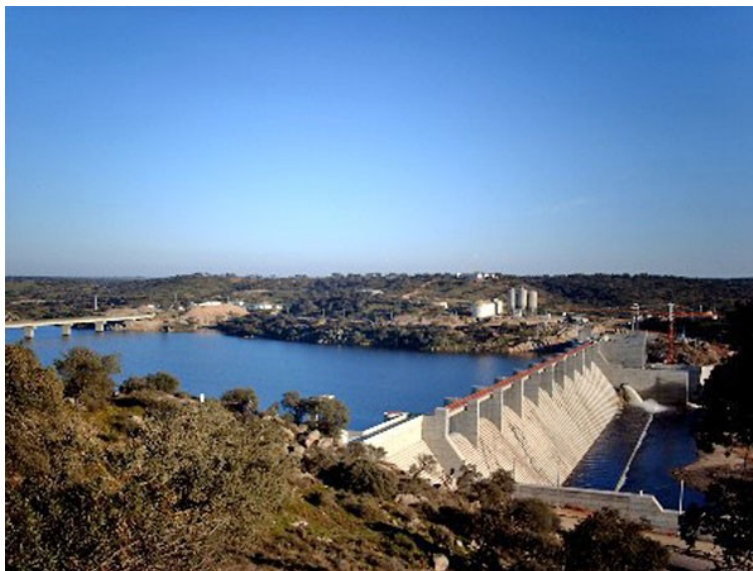


Fig. 42 -Barragem de Pedrógão

Apesar dos benefícios que as barragens, como Alqueva e Pedrógão, trazem para as regiões vizinhas, introduzem igualmente riscos para a população e o vale a jusante. Os riscos, derivados da concentração de volumes de água gigantescos, podem ser minimizados através da adoção de medidas adequadas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção, mas não podem ser completamente eliminados. Por isso, existe sempre o risco de ocorrer uma rutura da barragem, devido a situações excepcionais (cheias, sismos, deslizamentos de terras) ou a anomalias estruturais (colapso da estrutura, cedência das fundações). A rutura de uma barragem, como foi o caso da de Teton nos Estados Unidos (Fig. 43), origina uma onda de cheia que pode conduzir a perdas substanciais de vidas humanas e de bens materiais.



Fig. 43 -Rutura da barragem de Teton nos Estados Unidos

Para reduzir as perdas em caso de acidentes em barragens, a legislação portuguesa sobre segurança de barragens, através do Regulamento de Segurança de Barragens (Decreto-Lei 344/2007, de 15 de outubro), exige que para as barragens com altura superior a 15 m ou com volume de armazenamento superior a 100 000 m³ seja efetuada uma análise dos riscos associados. Para além disso, a legislação obriga ainda à definição de mapas de inundação e à elaboração de planos de emergência que incluam sistemas de alerta e aviso.

Devido à sua altura e volume de armazenamento as barragens de Alqueva e Pedrógão estão sujeitas ao Regulamento de Segurança de Barragens.

Como consequência da legislação vigente, foram desenvolvidos estudos para avaliar os riscos associados à barragem de Pedrógão. Nos estudos foram avaliados diversos cenários de acidentes para esta barragem, bem como para o conjunto Alqueva-Pedrógão: o cenário correspondente a um período de descarga na barragem de Pedrógão com 20 h de duração (cenário de cheia); o cenário de rutura de parte do corpo da barragem de Pedrógão (cenário de rutura menos gravosa de Pedrógão); o cenário de rutura de todos os blocos da barragem de Pedrógão (cenário de rutura mais gravosa de Pedrógão); e o cenário de rutura em cascata das barragens de Alqueva e Pedrógão (cenário de rutura em cascata de Alqueva e Pedrógão) (Amaral et al., 2008).

Na análise que se segue, adotou-se como cenário, o correspondente à rutura em cascata das barragens de Alqueva e Pedrógão, por ser o mais gravoso do ponto de vista das alturas de água no vale a jusante e constituir prática habitual das autoridades dimensionarem as medidas de proteção para o cenário mais gravoso.

Os mapas de inundação definidos no plano de emergência para o cenário adotado incluem mapas de zonas de risco que caracterizam a maior ou menor perigosidade da área de inundação em função do tempo de chegada da onda.

O plano estabelece duas zonas de risco para o envio do aviso à população: a Zona de Auto-Salvamento (ZAS) e a Zona de Intervenção Principal (ZIP).

Tabela 24 – Zonas de risco em caso de rutura de Alqueva

Zona de Risco	Limite de jusante	Chegada da Onda
ZAS	Barragem de Pedrógão	00:30:00
ZIP	Ribeira de Oeiras	02:00:00

A ZAS constitui a zona de risco correspondente à área inundável onde a onda chega rapidamente (até 0,5 h após a rutura), enquanto que a ZIP constitui a zona de risco correspondente à área inundável onde a onda chega mais tarde (entre a 0,5 a 2 h após a rutura).

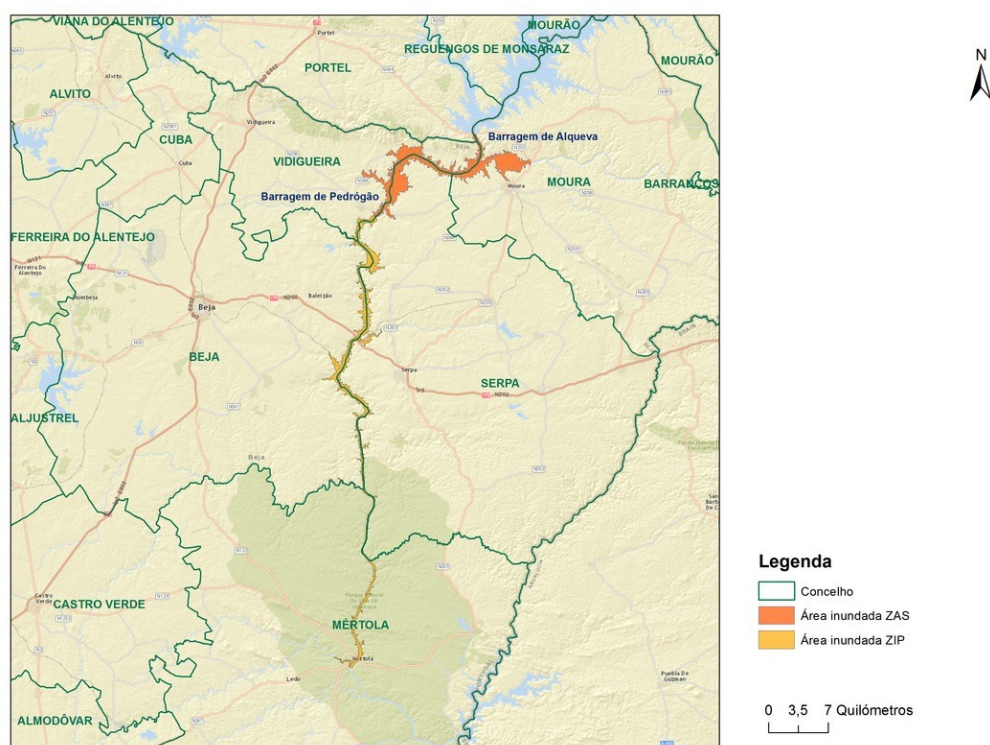


Fig. 44 -Zonas de Risco em caso de rutura das barragens de Alqueva e Pedrógão

A área correspondente às duas zonas de risco abrange território de diversos concelhos do distrito de Beja: Moura e Serpa, na margem esquerda; Vidigueira e Beja, na margem direita; e, Mértola em ambas as margens (Fig. 44).

6.4.5.2. Determinação do tempo de aviso

Para se efetuar medições de potência do sinal das estações base da Vodafone que abrangessem as zonas de risco em caso de rutura das barragens de Alqueva e Pedrógão percorreram-se de automóvel as principais estradas das áreas inundáveis e suas vizinhanças. A figura seguinte mostra o percurso efetuado.

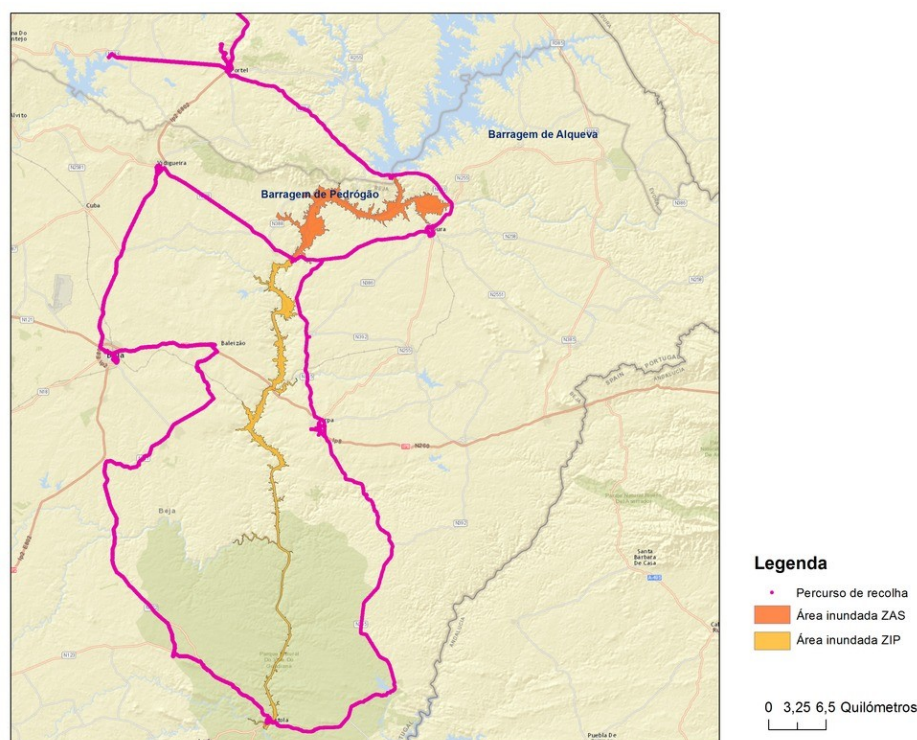


Fig. 45 - Percurso no vale do Guadiana em Alqueva e Pedrógão

O caminho percorrido permitiu identificar 45 células correspondentes a 24 estações base da Vodafone.

Em seguida, com base nas medições efetuadas estimaram-se os locais de implantação das estações base da Vodafone pelo método de Localização pelo Centróide Ponderado da Estação Base (Fig. 46).

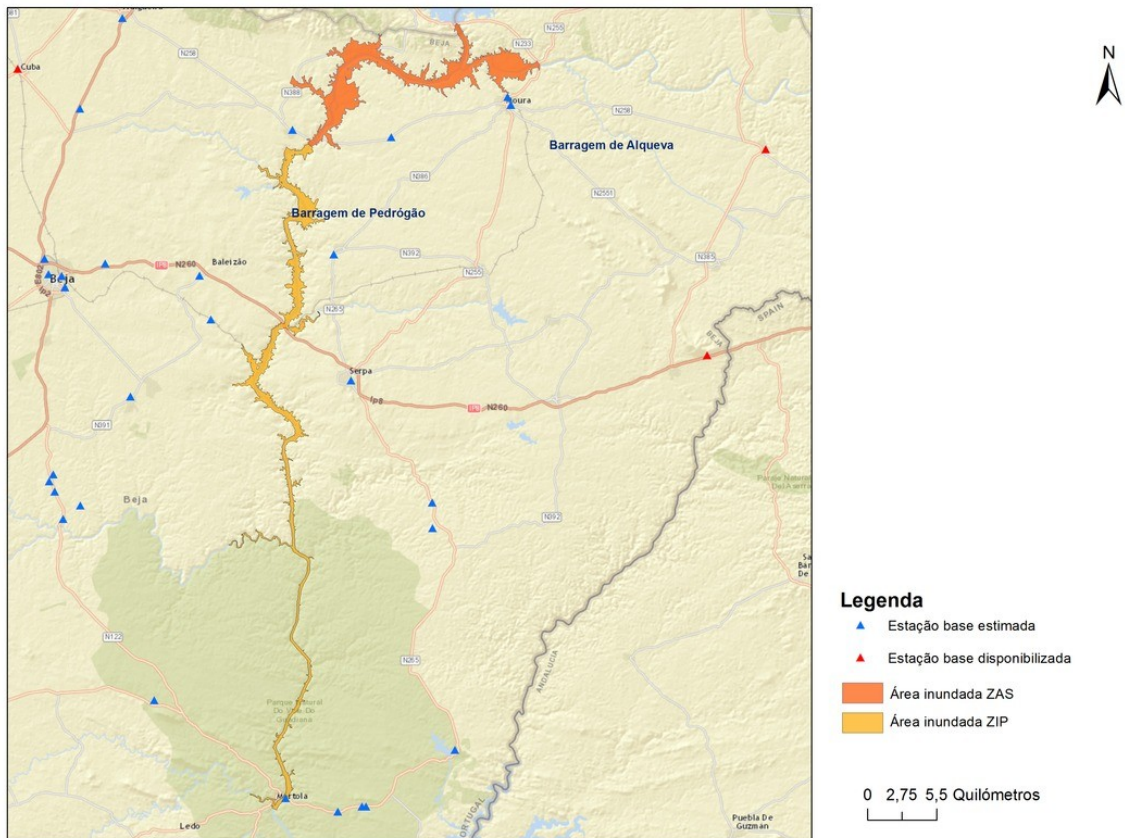


Fig. 46 - Estações base da Vodafone em Alqueva e Pedrógão

Determinadas as localizações das estações base (e respetivas células), calculou-se a cobertura de cada uma das células utilizando a tesselação de Voronoi (Fig. 47).

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

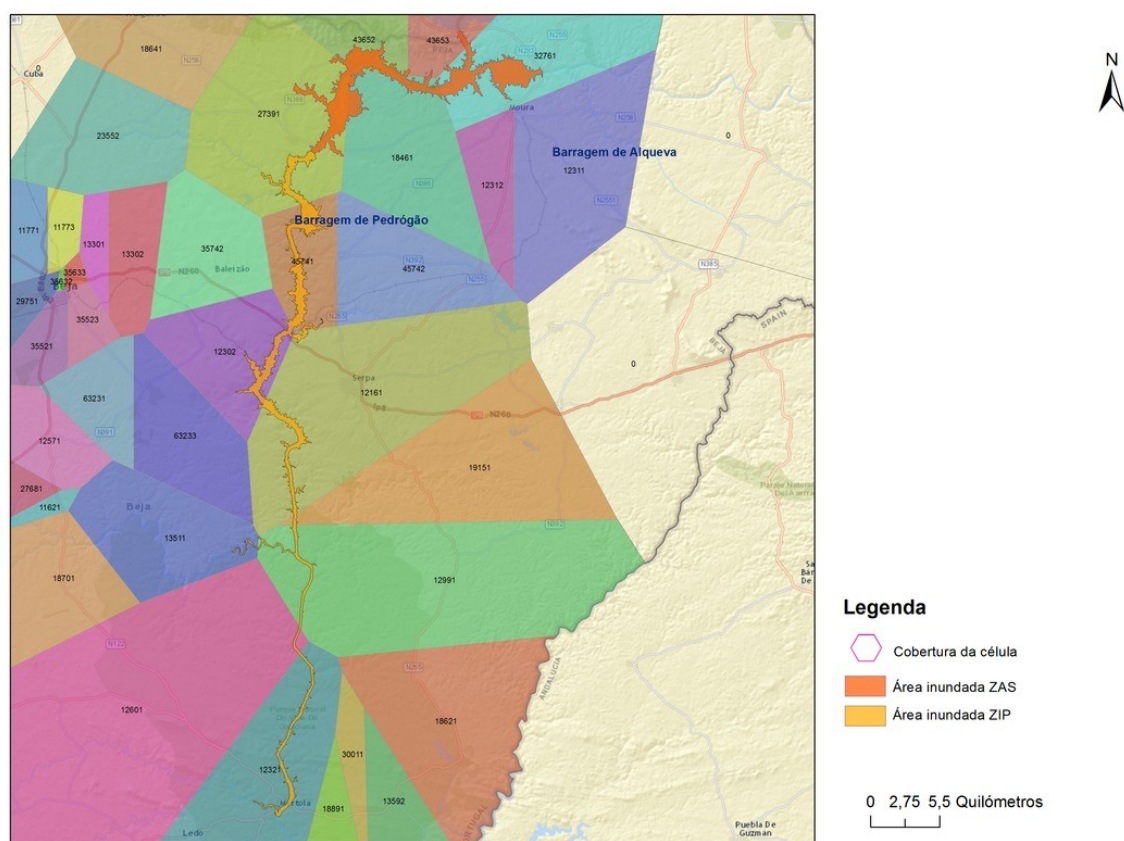


Fig. 47 - Cobertura das células da Vodafone em Alqueva e Pedrógão

Utilizando as definições das zonas de risco indicadas no plano de emergência para o cenário adotado, identificaram-se as células a utilizar para enviar o aviso (células de risco). Estas foram selecionadas por forma a garantir o envio do aviso à população que estivesse em risco e a reduzir o envio do aviso à população que não estivesse em risco (Fig. 48).

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

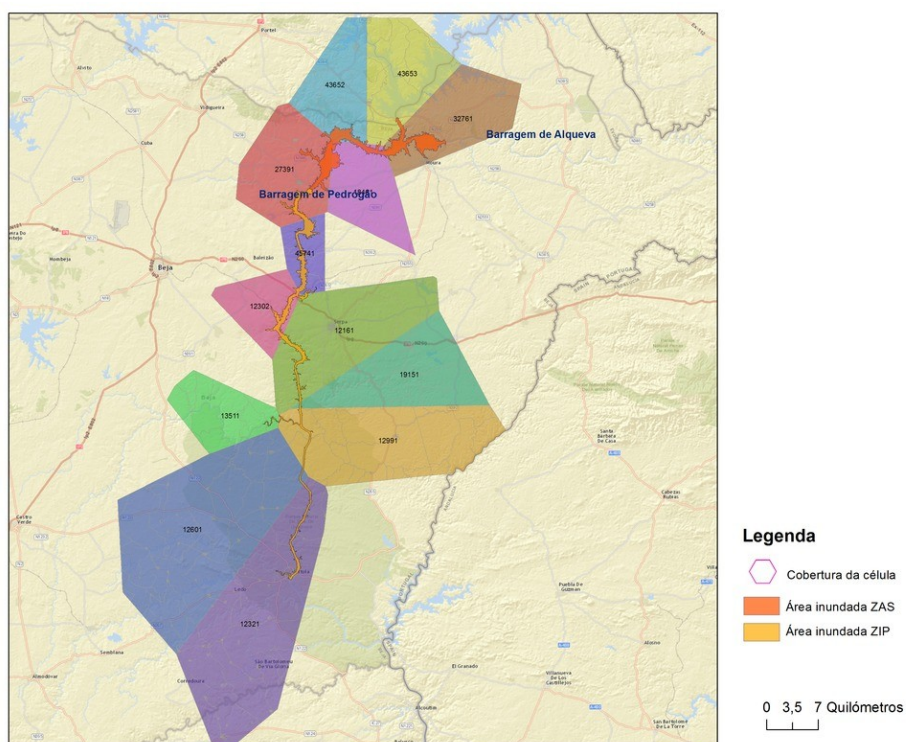


Fig. 48 - Células de risco em Alqueva e Pedrógão

Tendo em conta a cobertura das células e utilizando os dados do Censos 2011, estimou-se o número de residentes nas células de risco (Tabela 25)

Tabela 25 - População residente nas células de risco em Alqueva e Pedrógão

Célula	Área de Localização	Residentes
12161	25	5506
12302	25	287
12321	25	3299
12601	25	1635
12991	25	599
13511	25	15
18461	25	165
19151	25	2001
27391	25	1253
32761	25	4216
43652	25	421
43653	25	339
45741	25	52

Em seguida estimou-se o número de utilizadores de telemóveis nas mesmas células com base nos dados da população residente por grupo etário e em dois cenários: o primeiro que

considera a taxa de penetração do serviço móvel e o segundo que considera a taxa de posse de telemóveis (Tabela 26).

Tabela 26 - Utilizadores de telemóveis nas células de risco em Alqueva e Pedrógão

Célula	Utilizadores (Penetração)	Utilizadores (Posse)
12161	6299	4527
12302	329	235
12321	3775	2738
12601	1871	1352
12991	686	495
13511	18	14
18461	189	134
19151	2290	1660
27391	1434	1027
32761	4824	3404
43652	482	347
43653	388	291
45741	60	42

Destes utilizadores, apenas uma parte são assinantes de operadores que utilizam a infraestrutura de rede Vodafone. A quota de mercado detida por estes operadores permite que se estime o número de assinantes para os quais é necessário enviar o aviso.

Tabela 27 - Assinantes nas células de risco em Alqueva e Pedrógão

Célula	Assinantes (Penetração)	Assinantes (Posse)
12161	2684	1929
12302	140	101
12321	1608	1167
12601	797	576
12991	292	211
13511	8	6
18461	81	58
19151	976	708
27391	611	438
32761	2055	1451
43652	206	148
43653	166	124
45741	26	18

Assumindo que o número de canais de sinalização SDCCH em cada célula é 8 e que cada mensagem de aviso ocupa um canal SDCCH durante 4 segundos, podem estimar-se os tempos de aviso para os assinantes da infraestrutura de rede Vodafone.

Tabela 28 - Tempo de envio de aviso em Alqueva e Pedrógão

Célula	Zona de Risco	Tempo de envio (Penetração)	Tempo de envio (Posse)
12161	ZIP	00:22:24	00:16:08
12302	ZIP	00:01:12	00:00:52
12321	ZIP	00:13:24	00:09:44
12601	ZIP	00:06:40	00:04:48
12991	ZIP	00:02:28	00:01:48
13511	ZIP	00:00:04	00:00:04
18461	ZAS	00:00:44	00:00:32
19151	ZIP	00:08:08	00:05:56
27391	ZAS	00:05:08	00:03:40
32761	ZAS	00:17:08	00:12:08
43652	ZAS	00:01:44	00:01:16
43653	ZAS	00:01:24	00:01:04
45741	ZIP	00:00:16	00:00:12

Os tempos estimados indicam, caso as hipóteses consideradas sejam verdadeiras, que é possível enviar aviso aos assinantes dos operadores que utilizam a infraestrutura Vodafone atempadamente.

6.4.6. Inundação na Ria de Aveiro

6.4.6.1. Determinação das zonas de risco

A Ria de Aveiro é uma massa de água costeira de baixa profundidade localizada no Noroeste de Portugal (Fig. 49). A ria, tem o nome da cidade de Aveiro, que constitui o centro urbano mais próximo.

Estende-se, paralelamente ao mar, ao longo de cerca de 45 quilómetros, no sentido Norte-Sul, de Ovar a Mira. Abarca onze mil hectares, dos quais seis mil estão permanentemente alagados. As trocas de água com o Oceano Atlântico são feitas através de um canal artificial que se localiza a norte do farol da Barra, entre a povoação da Barra, concelho de Ílhavo, e a base aérea de São Jacinto, concelho de Aveiro. O canal artificial possui um comprimento de 1300 metros e uma largura de 300 metros.

A ria está dividida em quatro canais principais: a Norte, o canal de Ovar; ao centro, a Ria da Murtosa; a sul, o canal de Ílhavo; e a sudoeste, o canal de Mira. Na parte central há um arquipélago formado por diversas ilhas.

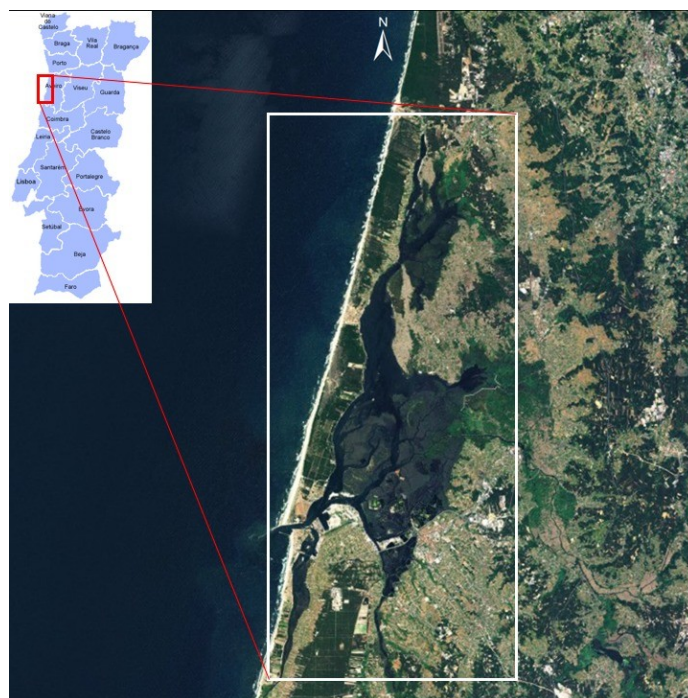


Fig. 49 - Imagem de satélite da Ria de Aveiro e sua localização em Portugal

Zonas costeiras, como a Ria de Aveiro, estão sujeitas a inundações imputáveis a diversos fenómenos, salientando-se as devidas à elevação do nível do mar e às perturbações atmosféricas. Estes fenómenos têm origens diversas, periodicidades muito diferentes e têm a particularidade de serem correlacionados entre si.

As variações lentas do nível médio do mar, que atualmente conduzem a elevações, devidas a causas naturais ou induzidas por atividades humanas, são designadas por variações seculares do nível do mar. Os impactos destas variações são reduzidos nos litorais rochosos ou arenosos, mas não o são noutras zonas ribeirinhas. Por exemplo, pequenas variações persistentes do nível médio do mar induzem grandes modificações nos sapais (zonas ribeirinhas periodicamente alagadas pela água salgada e ocupadas por plantas terrestres adaptadas a este meio).

A elevação temporária do nível do mar de muito curto período (da ordem de horas ou dias), devida às ondas produzidas durante temporais, conhecida pela designação anglo-saxónica

storm surge, constitui um fenómeno que afeta as zonas costeiras. Em particular, quando o *storm surge* ocorre associado a grandes temporais e em períodos de marés vivas, os riscos de inundação e de destruição de bens em zonas costeiras são elevados, podendo constituir um evento catastrófico.

A região envolvente da Ria de Aveiro evidencia uma elevada vulnerabilidade às inundações, que frequentemente podem ser interpretadas como resultantes de episódios de *storm surge*. As áreas mais afetadas são as zonas baixas da região que envolve a Ria, nomeadamente as zonas ribeirinhas.

Fortunato et al. (2011) estudaram a inundação das margens da Ria de Aveiro em situações extremas de elevação do nível do mar resultantes de episódios de *storm surge* conjugados com a elevação secular do nível do mar. Para as *storm surges*, consideraram-se episódios com período de retorno de 10, 50 e 100 anos, isto é *storm surges* cuja magnitude é atingida ou ultrapassada em média, de dez em dez anos, de cinquenta em cinquenta anos e de cem em cem anos. Para a elevação secular do nível do mar, consideraram três cenários futuros possíveis: um cenário otimista (0,23 m de subida), um cenário pessimista (0,35 m de subida) e um cenário muito pessimista (1,00 m de subida).

Para a análise que se segue, adotou-se como cenário de inundação o correspondente à ocorrência de um *storm surge* com um período de retorno de 50 anos e uma elevação do nível médio do mar de 0,35 m.

O serviço RDFS-PT do LNEC, faz previsões de inundações para diversas regiões da costa portuguesa. Estas previsões, elaboradas diariamente, conseguem prever, no pior dos cenários, o início da ocorrência do *storm surge* na zona marítima com uma antecedência de 4h.

Por outro lado, os mapas de inundação para este cenário indicam diferentes tempos de chegada da onda de inundação após o início da ocorrência do *storm surge* na zona marítima. A onda de inundação chega rapidamente ao canal de Ílhavo e à parte central, (entre 0,5 h a 2 h), um pouco mais tarde ao canal de Mira (entre 2 a 2,5 h) e, posteriormente, à Ria Murtosa e canal de Ovar (entre 2 a 3,5 h) (Fig. 50).

Assim pode-se estimar que é possível prever a onda de inundação com uma antecedência entre 4,5h (canal de Ílhavo e a parte central) e 7,5h (Ria Murtosa e canal de Ovar),

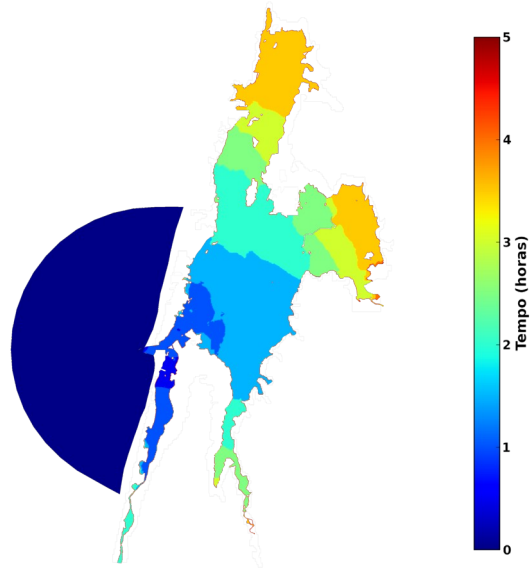


Fig. 50 - Tempos de chegada da onda inundação após o início do *storm surge*

As zonas inundadas no cenário adotado abrangem diversos concelhos dos distritos de Aveiro e um do distrito de Coimbra: a Norte, Ovar; ao centro, Murtosa, Estarreja, Aveiro e Albergaria-Velha, e, ao sul, Ílhavo, Vagos e Mira (Coimbra).

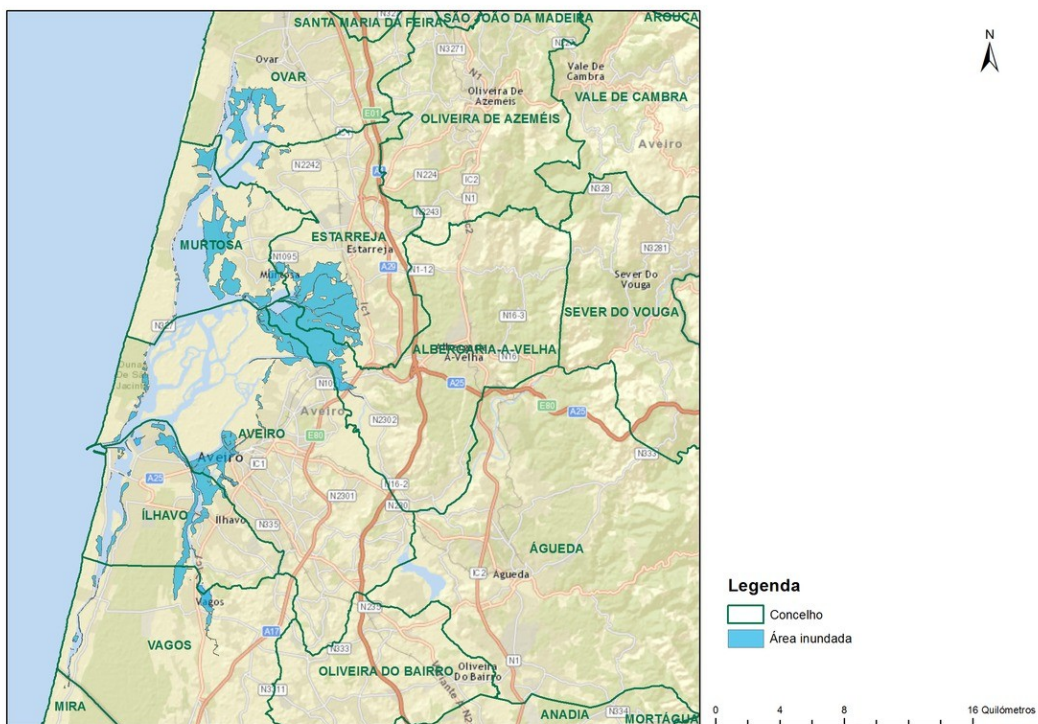


Fig. 51 - Inundação na Ria de Aveiro

6.4.6.2. Determinação do tempo de aviso

Com o objetivo de efetuar medições de potência do sinal das estações base da Vodafone, percorreram-se as principais ruas e estradas nas proximidades da zona de inundação prevista para a Ria de Aveiro. O mapa que se segue ilustra o percurso efetuado.

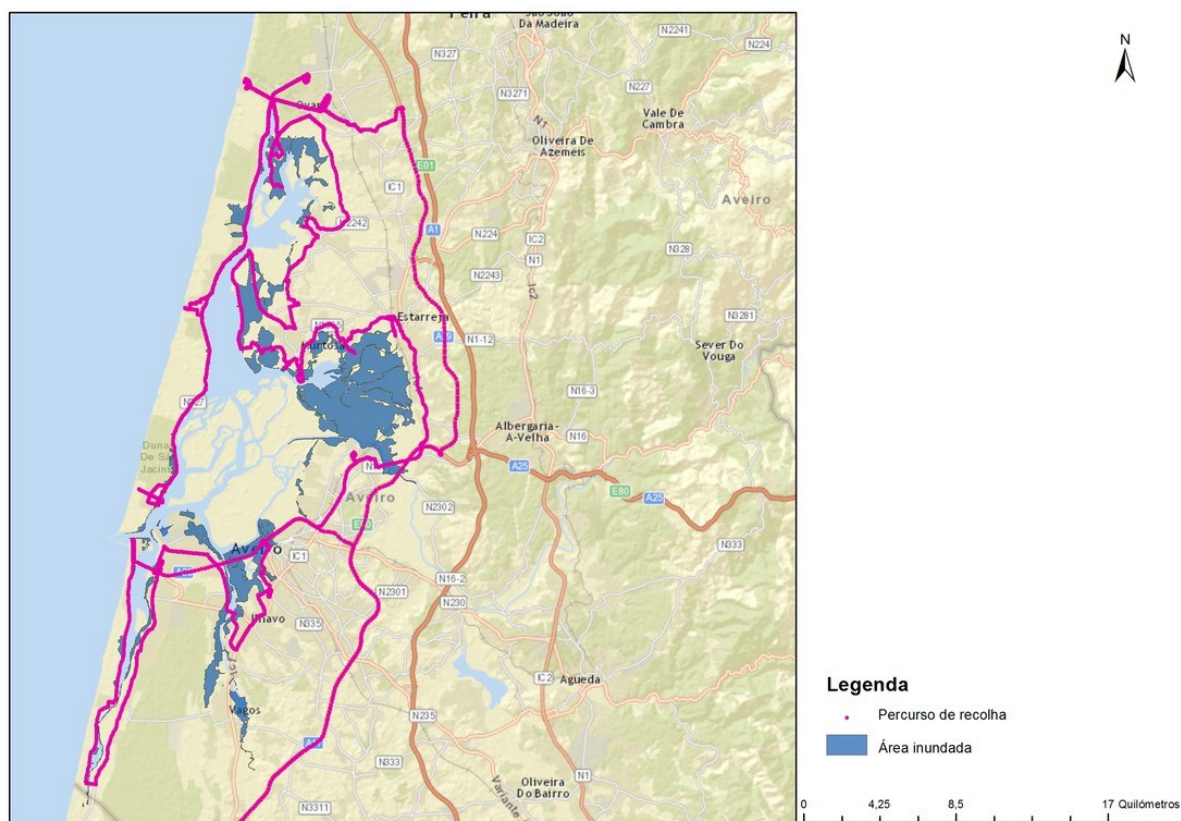


Fig. 52 - Percurso na Ria de Aveiro

O itinerário percorrido permitiu identificar um total de 155 células da Vodafone, correspondentes a 82 estações base, algumas das quais longe da zona de risco.

Estimou-se em seguida a localização das estações base da Vodafone, com base no método de Localização pelo Centróide Ponderado de Estação Base (Fig. 53).

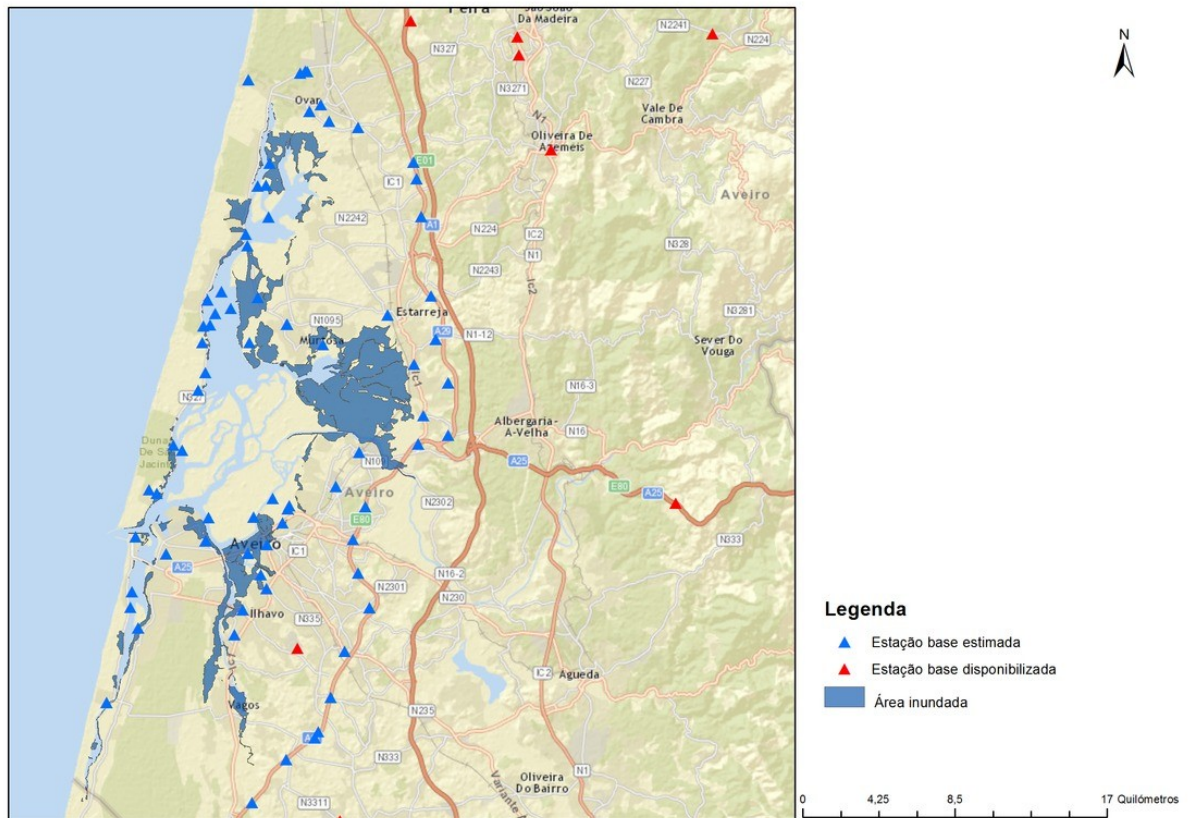


Fig. 53 - Estações base nas vizinhanças da Ria de Aveiro

Com base nas localizações das estações base da Vodafone estimou-se a cobertura de cada célula utilizando-se para efeito a tesselação de Voronoi (Fig. 54).

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

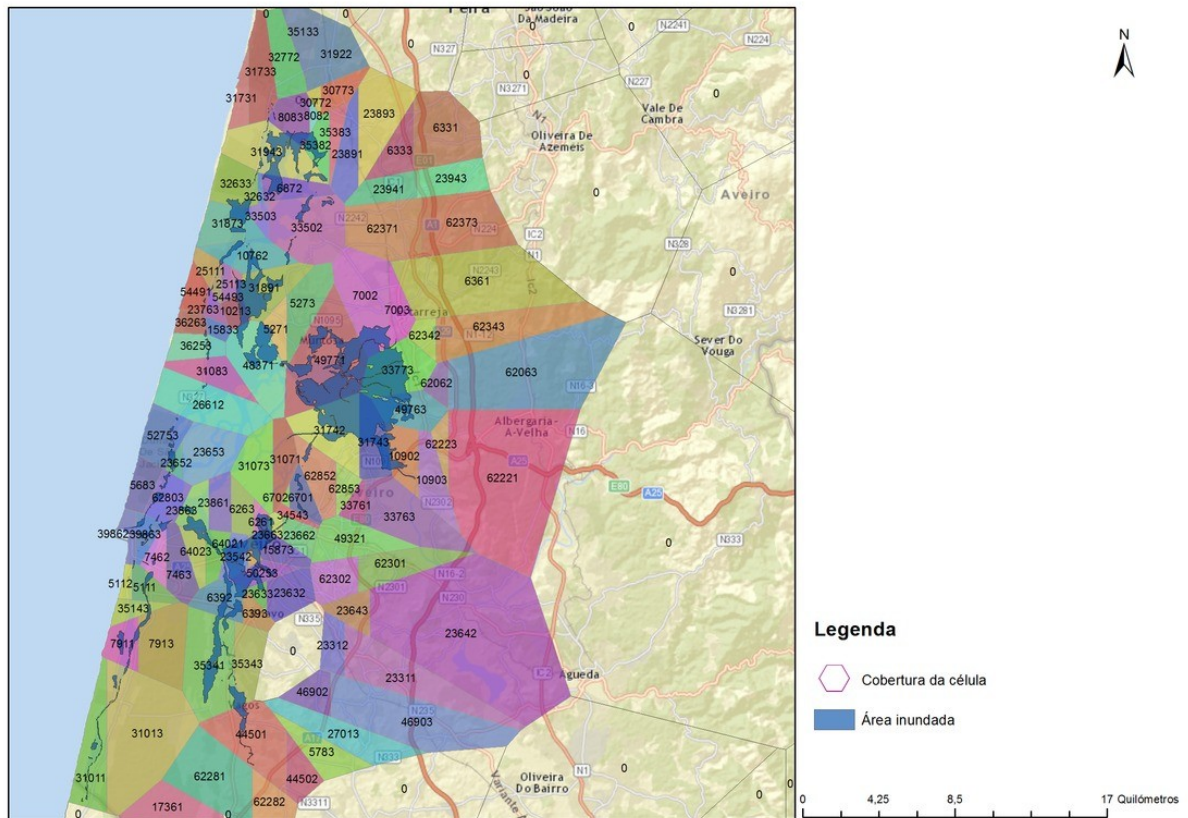


Fig. 54 - Cobertura das estações base da Vodafone nas vizinhanças da Ria de Aveiro

Considerando a zona de risco do cenário adotado, identificaram-se as células de risco, isto é as células a utilizar para o envio do aviso.

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

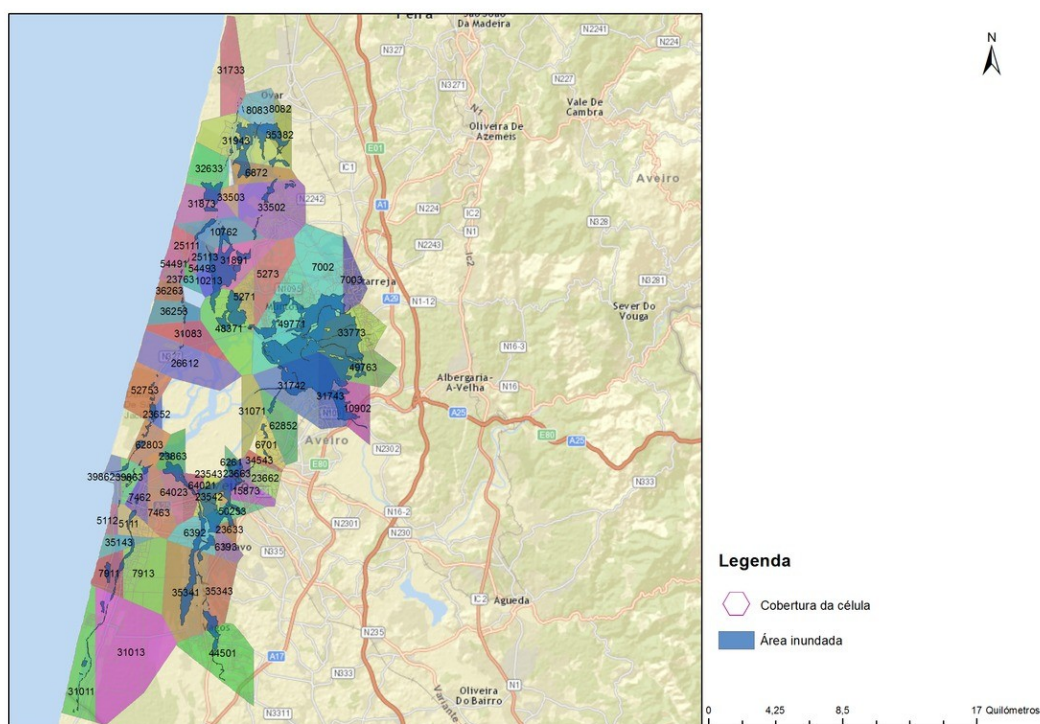


Fig. 55 - Células de risco da Ria de Aveiro

Cruzaram-se em seguida os dados populacionais do Censos 2011 com os relativos à cobertura das células para estimar a população residente nas células de risco.

Tabela 29 - População residente nas células de risco na Ria de Aveiro

Célula	Residentes	Célula	Residentes	Célula	Residentes
5111	1780	23633	996	34543	1648
5112	430	23652	1	35143	1037
5271	2093	23662	10435	35341	3169
5273	2691	23663	1252	35343	3442
6261	0	23763	2	35382	429
6392	2192	23863	17	36253	18
6393	5011	25111	177	36263	31
6701	2938	25113	1	39862	1257
6872	80	26612	31	39863	724
7002	2141	31011	983	44501	3981
7003	4662	31013	1730	48371	122
7462	1956	31071	3	49763	1177
7463	5014	31083	12	49771	2881
7911	346	31733	1175	50253	4179
7913	1969	31742	3508	52753	3
8082	1151	31743	1617	54491	1914

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

Célula	Residentes	Célula	Residentes	Célula	Residentes
8083	2767	31873	405	54493	15
10213	63	31891	1337	62803	587
10762	164	31943	976	62852	3276
10902	336	32633	270	64021	2249
15873	8074	33502	4370	64023	5592
23542	110	33503	5		
23543	2	33773	1743		

Em seguida, estimou-se o número de utilizadores de telemóveis nas células de risco com base nos dados da população residente por grupo etário e em dois cenários: o primeiro, que considera a taxa de penetração do serviço móvel e o segundo, que considera a taxa de posse de telemóveis (Tabela 30).

Tabela 30 - Utilizadores de telemóveis nas células de risco na Ria de Aveiro

Célula	Utilizadores (Penetração)	Utilizadores (Posse)	Célula	Utilizadores (Penetração)	Utilizadores (Posse)	Célula	Utilizadores (Penetração)	Utilizadores (Posse)
5111	2037	1473	23633	1140	825	34543	1886	1372
5112	492	356	23652	2	1	35143	1187	855
5271	2395	1677	23662	11938	8686	35341	3626	2615
5273	3079	2176	23663	1433	1041	35343	3938	2852
6261	0	0	23763	3	2	35382	491	355
6392	2508	1817	23863	20	14	36253	21	15
6393	5733	4144	25111	203	144	36263	36	25
6701	3362	2447	25113	2	1	39862	1439	1039
6872	92	66	26612	36	26	39863	829	598
7002	2450	1760	31011	1125	805	44501	4555	3283
7003	5334	3839	31013	1980	1411	48371	140	99
7462	2238	1620	31071	4	2	49763	1347	971
7463	5737	4151	31083	14	10	49771	3296	2345
7911	396	281	31733	1345	976	50253	4781	3507
7913	2253	1613	31742	4014	2911	52753	4	3
8082	1317	956	31743	1850	1339	54491	2190	1560
8083	3166	2299	31873	464	330	54493	18	12
10213	73	52	31891	1530	1106	62803	672	495
10762	188	133	31943	1117	806	62852	3748	2721
10902	385	278	32633	309	222	64021	2573	1862
15873	9237	6791	33502	5000	3585	64023	6398	4632
23542	126	90	33503	6	4			
23543	3	2	33773	1994	1433			

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

Só uma fração destes utilizadores são assinantes de prestadores de serviços de telecomunicações cuja infraestrutura é a da Vodafone. Utilizando as quotas de mercado detidas pela totalidade de prestadores que utilizam a infraestrutura da Vodafone, pode-se estimar o número de assinantes para os quais é necessário enviar o aviso.

Tabela 31 - Assinantes nas células de risco na Ria de Aveiro

Célula	Assinantes (Penetração)	Assinantes (Posse)	Célula	Assinantes (Penetração)	Assinantes (Posse)	Célula	Assinantes (Penetração)	Assinantes (Posse)
5111	868	628	23633	486	352	34543	804	585
5112	210	152	23652	1	1	35143	506	365
5271	1021	715	23662	5086	3701	35341	1545	1114
5273	1312	927	23663	611	444	35343	1678	1215
6261	0	0	23763	1	1	35382	210	152
6392	1069	775	23863	9	6	36253	9	7
6393	2443	1766	25111	87	62	36263	16	11
6701	1432	1043	25113	1	1	39862	613	443
6872	39	29	26612	16	12	39863	353	255
7002	1044	750	31011	480	343	44501	1941	1399
7003	2272	1636	31013	844	602	48371	60	43
7462	954	691	31071	2	1	49763	574	414
7463	2444	1769	31083	6	5	49771	1405	999
7911	169	120	31733	573	416	50253	2037	1494
7913	960	688	31742	1710	1241	52753	2	2
8082	561	408	31743	789	571	54491	933	665
8083	1349	980	31873	198	141	54493	8	6
10213	31	23	31891	652	472	62803	287	211
10762	80	57	31943	476	344	62852	1597	1160
10902	164	119	32633	132	95	64021	1097	794
15873	3935	2893	33502	2130	1528	64023	2726	1974
23542	54	39	33503	3	2			
23543	1	1	33773	850	611			

Assumindo-se que o número de canais de sinalização SDCCH em cada célula é 8 e que cada mensagem de aviso ocupa um canal SDCCH durante 4 segundos, pode-se estimar os tempos de aviso para os assinantes da infraestrutura de rede Vodafone.

Tabela 32 - Tempo de envio de aviso na Ria de Aveiro

Célula	Tempo de envio (Penetração)	Tempo de envio (Posse)	Célula	Tempo de envio (Penetração)	Tempo de envio (Posse)	Célula	Tempo de envio (Penetração)	Tempo de envio (Posse)
5111	00:07:16	00:05:16	23633	00:04:04	00:02:56	34543	00:06:44	00:04:56
5112	00:01:48	00:01:16	23652	00:00:04	00:00:04	35143	00:04:16	00:03:04
5271	00:08:32	00:06:00	23662	00:42:24	00:30:52	35341	00:12:56	00:09:20
5273	00:10:56	00:07:44	23663	00:05:08	00:03:44	35343	00:14:00	00:10:08
6261	00:00:00	00:00:00	23763	00:00:04	00:00:04	35382	00:01:48	00:01:16
6392	00:08:56	00:06:28	23863	00:00:08	00:00:04	36253	00:00:08	00:00:04
6393	00:20:24	00:14:44	25111	00:00:44	00:00:32	36263	00:00:08	00:00:08
6701	00:11:56	00:08:44	25113	00:00:04	00:00:04	39862	00:05:08	00:03:44
6872	00:00:20	00:00:16	26612	00:00:08	00:00:08	39863	00:03:00	00:02:08
7002	00:08:44	00:06:16	31011	00:04:00	00:02:52	44501	00:16:12	00:11:40
7003	00:18:56	00:13:40	31013	00:07:04	00:05:04	48371	00:00:32	00:00:24
7462	00:08:00	00:05:48	31071	00:00:04	00:00:04	49763	00:04:48	00:03:28
7463	00:20:24	00:14:48	31083	00:00:04	00:00:04	49771	00:11:44	00:08:20
7911	00:01:28	00:01:00	31733	00:04:48	00:03:28	50253	00:17:00	00:12:28
7913	00:08:00	00:05:44	31742	00:14:16	00:10:24	52753	00:00:04	00:00:04
8082	00:04:44	00:03:24	31743	00:06:36	00:04:48	54491	00:07:48	00:05:36
8083	00:11:16	00:08:12	31873	00:01:40	00:01:12	54493	00:00:04	00:00:04
10213	00:00:16	00:00:12	31891	00:05:28	00:03:56	62803	00:02:24	00:01:48
10762	00:00:40	00:00:32	31943	00:04:00	00:02:52	62852	00:13:20	00:09:40
10902	00:01:24	00:01:00	32633	00:01:08	00:00:48	64021	00:09:12	00:06:40
15873	00:32:48	00:24:08	33502	00:17:48	00:12:44	64023	00:22:44	00:16:28
23542	00:00:28	00:00:20	33503	00:00:04	00:00:04			
23543	00:00:04	00:00:04	33773	00:07:08	00:05:08			

Os tempos indicados mostram que é possível utilizar o SMS para avisar a população na Ria de Aveiro. Todos os assinantes que utilizam a infraestrutura Vodafone conseguem ser avisados em menos de 45 minutos, tempo que fica claramente abaixo das 4,5 horas de tempo mínimo para o aviso.

6.5. Conclusões

O comportamento do SMS em situações em que ocorre uma congestão ao nível das chamadas de voz indicia tratar-se de um excelente candidato para uma rede de aviso. Identificaram-se, no entanto, algumas limitações que podem restringir a sua utilização ou condicionar a sua utilização como meio de aviso à população.

Neste capítulo, propõe-se uma arquitetura para uma rede de aviso baseada em SMS que inclui soluções para ultrapassar ou atenuar as limitações identificadas. Em particular, propõem-se soluções para melhorar a rapidez na submissão do aviso, melhorar a precisão da localização dos destinatários, evitar o envio de avisos falsos, permitir o envio em diversas línguas e aumentar o débito de envio de avisos.

Atendendo à impossibilidade prática de observar o comportamento de um sistema de aviso baseado em SMS numa situação de desastre, procurou avaliar-se o seu comportamento através da caracterização analítica do envio do aviso em diferentes cenários. Da análise efetuada e dentro dos pressupostos assumidos e para os dois cenários analisados, pode-se concluir que é possível, em tempo útil, avisar a população através de mensagens SMS. Um dos pressupostos da análise efetuada é a estimativa da população a avisar, que se baseia exclusivamente em dados relativos ao local de residência habitual. A aplicação da mesma metodologia a zonas em que existam flutuações da população diárias ou sazonais significativas deveria incluir os efeitos destes fenómenos. Por outro lado, importa referir que a análise não teve em conta os efeitos das propostas formuladas para aumentar o débito do envio de mensagens SMS suportado por uma célula.

Sendo as redes de aviso, e em particular a rede de aviso baseada em SMS, um componente do sistema de aviso, é importante verificar em que medida a existência de uma rede de aviso específica contribui para a satisfação dos requisitos identificados no capítulo anterior.

A rede de aviso baseada em SMS, tal como proposta, é exequível e contribui, como qualquer outra rede que seja adicionada ao sistema, para o aumento da sua redundância. A rede permite uma difusão geograficamente seletiva dos avisos, embora, estando a seletividade limitada pela cobertura das células, possam existir situações de envio de avisos desnecessários. Contudo, tais situações nunca serão muito significativas. Quando ao requisito de suporte a diversos tipos de desastre, a rede baseada em SMS, porque se apoia numa infraestrutura que cobre a quase totalidade do território nacional e utiliza um mecanismo de difusão seletiva configurado dinamicamente, contribui de forma decisiva para que o sistema satisfaça esse requisito. Mostrou-se igualmente que a rede baseada em SMS é compatível com os requisitos de suporte de múltiplos grupos de utilizadores e de autenticidade do aviso.

Finalmente, quanto aos requisitos de envio em tempo útil e escalabilidade, que estão intimamente ligados, a análise efetuada, com as limitações indicadas, permite concluir que uma rede baseada em SMS deverá apresentar um comportamento aceitável em muitas situações. Trata-se contudo de matéria que deverá ser objeto de um estudo mais aprofundado, quer por via de uma abordagem analítica mais rigorosa, quer pela via da simulação que, pelas razões expostas, teve de ser abandonada no âmbito deste trabalho.

7. Proposta de uma Rede de Aviso de Televisão

7.1. Introdução

A televisão é um canal de comunicação com uma elevada divulgação a nível mundial. Típicamente é utilizada pelo público em geral com múltiplos objetivos, nomeadamente para receber informação através de noticiários, documentários ou debates, assistir remotamente a eventos desportivos e ver programas de entretenimento ou filmes de ficção. Uma das suas características essenciais é ser uma tecnologia com capacidade de enviar imagens e sons em simultâneo para uma grande audiência.

Em Portugal, a televisão é um dos canais de comunicação mais difundidos, sendo quase universal. De acordo com a Obercom, em 2008, 99,5% dos agregados familiares tinha pelo menos um televisor e 74,1% tinha mais do que um (Obercom, 2011). Tão elevada taxa de posse de equipamentos de receção torna a televisão numa excelente candidata a canal de comunicação de uma rede de aviso.

A televisão, por ser um canal de comunicação por difusão, é particularmente adequada para enviar o aviso a muitos destinatários, pois consegue avisar a população que esteja nos seus lares ou em locais de lazer a ver uma emissão televisiva, independentemente da sua dimensão, sem que ocorram problemas de escalabilidade. Por outro lado, por ser um canal de comunicação multimédia, permite o envio de avisos com conteúdo rico podendo contribuir para aumentar a eficácia do aviso ao ajudar a transmitir instruções à população de forma apelativa e atraente.

A recente migração para a televisão digital, disponibiliza uma plataforma com uma interface de programação que pode ser explorada para melhorar o envio do aviso à população.

Este capítulo descreve a proposta de uma rede de aviso suportada na televisão digital e baseada na arquitetura proposta no Capítulo 5.

A disseminação do aviso através da televisão é feita após os dados relativos ao desastre terem sido avaliados e ter sido criado o aviso. De acordo com a arquitetura proposta no capítulo 5, estas etapas são realizadas pelo subsistema de criação e expedição de avisos (CEA). Na etapa de avaliação serão escolhidos as redes de aviso utilizadas para avisar a população. Seguidamente, na etapa de criação do aviso, será selecionada a zona de disseminação do aviso

e criado o aviso, eventualmente por edição de avisos pré-definidos. Finalmente, o aviso será encaminhado para o *gateway* das redes de aviso selecionadas.

Para disseminar o aviso, o *gateway* de televisão, deverá ser capaz de enviar uma sinalização para os centros de difusão ou para os transmissores, consoante a granularidade da rede de distribuição de televisão, que permita enviar o aviso para a zona de aviso previamente definida. A sinalização enviada ativará uma filme ou imagem que aparecerá nos recetores de televisão que estejam ligados na zona de cobertura possível, independentemente do canal que esteja sintonizado, noticiando o desastre e as ações que as pessoas deverão executar.

7.2. Rede de Aviso Proposta

7.2.1. Arquitetura Geral

Apresenta-se a proposta de uma arquitetura para uma rede de aviso de televisão independente do meio de transmissão. Posteriormente, apresentam-se soluções distintas para as diferentes redes de televisão que tiram partido das características distintas das tecnologias de suporte.

A arquitetura da rede de aviso de televisão é composta por três elementos: o *gateway* de televisão, a rede de distribuição de televisão e os recetores de televisão.

O *gateway* de televisão é elemento que interliga o subsistema de criação e expedição de avisos (CEA) à rede de distribuição de televisão.

A rede de distribuição de televisão é o elemento de comunicação responsável pela transmissão de sinais televisivos, sendo constituída pelas infraestruturas de telecomunicações afetas à difusão de televisão através de um meio de suporte.

Os recetores de televisão são os elementos responsáveis por desmodular e decodificar os sinais televisivos provenientes da rede de distribuição.

7.2.2. Gateway de Televisão

O *gateway* de televisão é composto pelos seguintes componentes:

- Servidor de Televisão;
- Gestor de Inserções.

O Servidor de Televisão é o ponto de contacto do subsistema de criação e expedição de avisos (CEA) com a rede de distribuição de televisão, para a qual se pretende disseminar o aviso. Deverá possuir funções que permitam responder de forma eficiente aos comandos enviados pelo CEA, como definidos no Capítulo 5 (e.g. enviar um aviso, eliminar um aviso). Por exemplo, na sequência do comando para enviar um aviso, o Servidor de Televisão deverá ser capaz com base na zonas de disseminação do aviso indicadas pelo CEA, seleccionar os recursos da rede de televisão que deverão ser utilizados para disseminar o aviso. Em seguida, esta escolha de recursos e o aviso serão enviados ao Gestor de Inserções para um posterior processamento.

O Gestor de Inserções é o componente do *gateway* de televisão que possui a capacidade de enviar o aviso utilizando o formato de transmissão adequado (e.g. MPEG-TS no caso na televisão por cabo) para os elementos da rede de televisão seleccionados pelo Servidor de Televisão.

7.2.3. Rede de Distribuição

7.2.3.1. Difusão Terrestre

No caso da difusão terrestre (TDT), a rede é constituída por 242 emissores (Continente: 217, Açores: 14, Madeira: 11) espalhados pelo país (Fig. 56), devendo cobrir, de acordo com o caderno de encargos da Anacom cerca de 86% da população portuguesa.

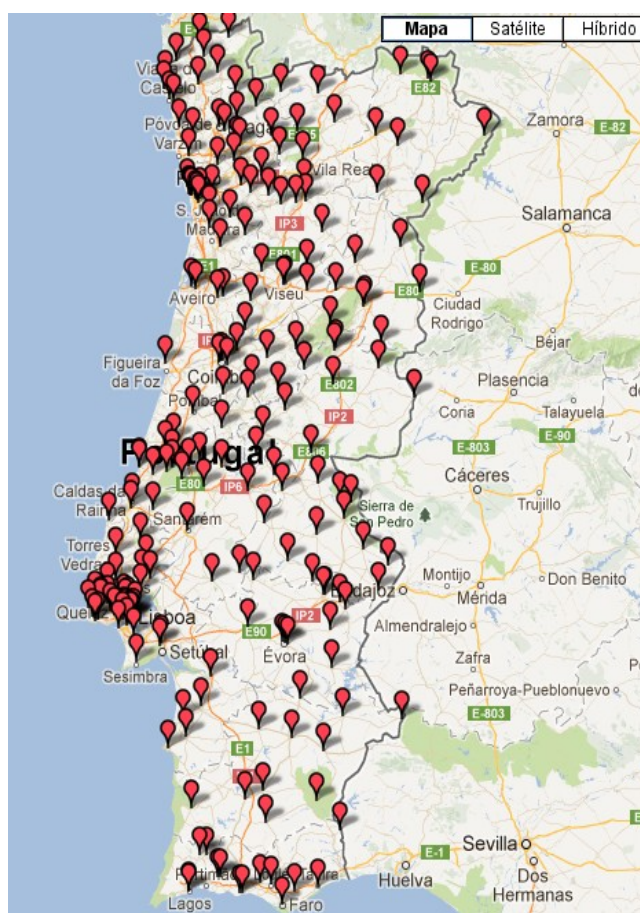


Fig. 56 - Rede dos emissores da TDT em Portugal Continental

7.2.3.2. ADSL

No caso de o meio de suporte ser ADSL, a rede é constituída pelas centrais da rede telefónica pública nas quais estejam instaladas DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). Atualmente todas as 1853 centrais existentes em Portugal Continental estão equipadas com DSLAM, situação que se verifica desde junho de 2006 (Anacom, 2008a). As centrais estão em maior número na região da Grande Lisboa e do Grande Porto, no Litoral Norte e no Algarve. No interior, o número de centrais é menor, devido à menor densidade populacional (Fig. 57).

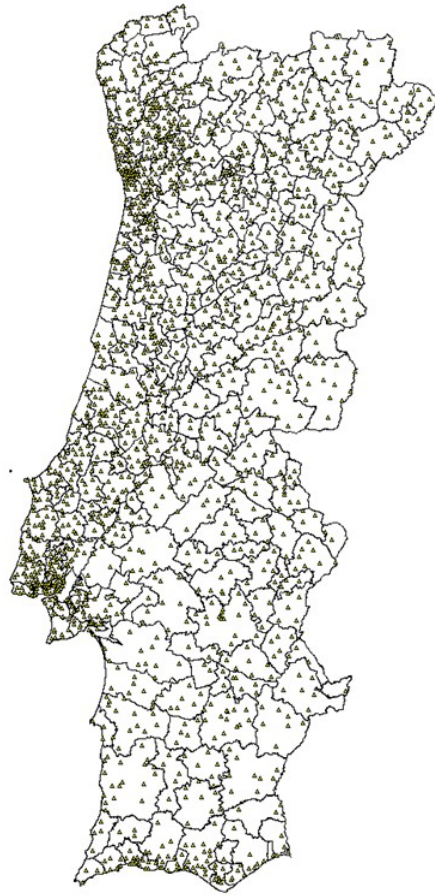


Fig. 57 - Rede de ADSL em Portugal Continental (Anacom, 2008a)

7.2.3.3. Difusão Via Satélite

No caso da difusão via satélite (DTH), a rede é constituída pela estação terrestre da Hispasat localizada em Arganda del Rey (próximo de Madrid) e pelos satélites geoestacionários Hispasat 1C e 1E situados na posição orbital 30° Oeste.

Em qualquer dos satélites, os *transponders* alugados pelos operadores portugueses têm uma cobertura que vai do Norte de África até à Rússia, possuindo no entanto uma melhor qualidade de receção na Península Ibérica, Baleares, Açores, Madeira e Canárias (Fig. 58).



Fig. 58 - Cobertura europeia do satélite Hispasat 1C (Hispasat, 2013)

Nos últimos anos, por forma a antecipar o fim de vida útil do Hispasat 1C, os operadores portugueses têm procurado migrar de forma gradual os assinantes para o Hispasat 1E.

7.2.3.4. Restantes Redes

Paras as restantes redes de distribuição, a sua topologia não é conhecida, uma vez que esta informação não é disponibilizada pelos operadores.

7.2.4. Recetores de Televisão

Os recetores de televisão constituem os equipamentos necessários para receber a televisão na residência do assinante.

Em Portugal, na generalidade dos casos, a receção dos sinais televisivos é feita por televisores que possuem capacidades de descodificação ou através de um equipamento externo (descodificador) ligado ao televisor. É o caso da receção da televisão digital, qualquer que seja a rede de distribuição utilizada. Algumas exceções que ainda existem são os casos dos televisores analógicos em residências com pacotes exclusivamente analógicos ou os casos dos televisores secundários analógicos em residências com pacotes que incluem apenas um único descodificador.

Os descodificadores, quer sejam embebidos no televisor ou externos, tratam os sinais digitais recebidos por difusão terrestre, cabo, satélite ou IPTV e convertem-nos para o formato adequado à visualização no ecrã do televisor. Têm como funções desmodular o sinal recebido,

desmultiplexar e nalguns casos descriptar o fluxo de áudio e vídeo selecionado pelo telespetador, decodificar os sinais de áudio e vídeo e enviar a imagem para o ecrã do televisor. Caso o ambiente televisivo possua um canal de retorno, o decodificador tem como funções adicionais processar os dados recebidos do telespetador e enviar os mesmos dados através do canal de retorno.

O canal de retorno constitui uma ligação opcional estabelecida entre o decodificador e o fornecedor do conteúdo (a emissora de televisão) que possibilita o envio de pedidos e respostas por parte do telespetador ao fornecedor do conteúdo. No caso de redes de distribuição que não possuem um canal ascendente (e.g. difusão terrestre ou via satélite) é possível implementar o canal de retorno através de outra rede que o assinante possua. No entanto, embora esta solução seja tecnicamente exequível, não tem sido comercialmente bem sucedida.

Do ponto de vista de *software*, um decodificador é composto por três camadas: o *middleware*, a interface de programação e as aplicações interativas (Fig. 59).

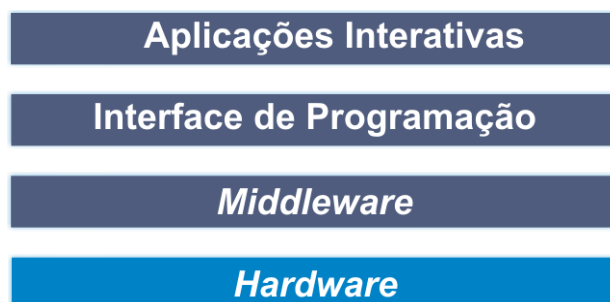


Fig. 59 - Camadas de *software* de um decodificador

O *middleware* tem como função fornecer um conjunto de serviços que permita esconder as características de baixo nível dos dispositivos que compõe o decodificador, como sejam o controlador remoto, o sintonizador, o decodificador, o leitor de *smartcard* ou o *modem* do canal de retorno.

A interface de programação (*Application Programming Interface* – API) permite que os programadores possam desenvolver aplicações sem que necessitem de conhecer os detalhes de implementação do *middleware*. Esta camada permite o desenvolvimento de aplicações portáveis entre diferentes decodificadores desde os básicos aos de gama superior (e.g. *Smart TV*).

As aplicações interativas são programas que permitem oferecer serviços adicionais aos telespetadores.

Os serviços oferecidos pelas aplicações interativas podem ser categorizadas em três tipos de acordo com nível de interatividade: interatividade local, interatividade unidirecional e interatividade bidirecional.

Nos serviços com interatividade local os telespetadores apenas interagem com a aplicação em funcionamento no descodificador, não exigindo comunicações no sentido ascendente. O código e os dados podem ser transferidos através da rede de distribuição para a memória do descodificador. Alguns exemplos são o guia de programação eletrónico (*Electronic Programming Guide – EPG*), teletexto, gravação de vídeo (*Personal Video Recording – PVR*) e jogos locais.

Nos serviços com interatividade unidirecional é necessário um canal de retorno que permita ao telespetador interagir com o servidor. Este tipo de serviços apenas difunde as respostas dos telespetadores. Alguns exemplos são a televotação e a resposta direta a anúncios.

Nos serviços interativos bidirecionais o telespetador envia um pedido a um servidor e o conteúdo é alterado em função da solicitação. Alguns exemplos são jogos interativos, televisão interativa (o conteúdo televisivo é alterado a pedido dos telespetadores), e concursos televisivos (o telespetador pode competir com os concorrentes no estúdio).

Propõe-se a utilização de uma aplicação interativa, o Agente de Avisos à População (*Emergency Warning Agent*) que ajude as autoridades de proteção civil a avisar a população de forma seletiva. Dado que é um requisito desta aplicação poder ser utilizada em todo o universo dos descodificadores, ela poderá apenas fornecer um serviço com interatividade local, sob pena de excluir os decodificadores das redes de distribuição sem canal de retorno. Em Portugal, de acordo com os dados da Obercom relativos a dezembro de 2011, anteriores à cessação da televisão analógica por difusão terrestre, a opção por uma aplicação com maior nível de interatividade excluiria cerca de 43,5% dos agregados familiares (Obercom, 2012).

Para ter capacidade de seletividade quanto à visualização do aviso é necessário que o Agente de Avisos à População tenha conhecimento da localização do alojamento. Esta informação poderá ser parameterizada presencialmente pelo instalador quando se deslocar ao alojamento

do assinante (e.g. quando o assinante adira a um pacote que exija um novo descodificador) ou remotamente pelo operador através do mecanismo de atualização de *firmware* dos descodificadores. No primeiro caso, o instalador poderá utilizar as coordenadas geográficas fornecidas por um recetor de GPS (e.g. um smartphone) e no segundo caso o operador poderá utilizar as coordenadas geográficas correspondentes à morada de faturação do assinante. Em ambos os casos a informação de localização será armazenada pelo descodificador para uso futuro pelo Agente de Avisos à População ou outras aplicações que necessitem da mesma.

7.3. Soluções para Diferentes Modalidades de Televisão

7.3.1. Televisão por Subscrição

O aviso é enviado para todas as cabeças de rede que cubram a zona pretendida, sendo seguidamente transmitido para todos os descodificadores (Fig. 60).

Recebido o aviso, o Agente de Avisos à População, residente no descodificador, processa a lista de zonas de disseminação do aviso e em função da localização do alojamento toma a decisão de interromper ou manter a emissão. Caso a localização do alojamento esteja no interior de uma das zonas de disseminação do aviso, o descodificador interrompe a emissão sintonizada e mostra o aviso; caso contrário, o telespetador continuará a ver a emissão que tenha sintonizado.

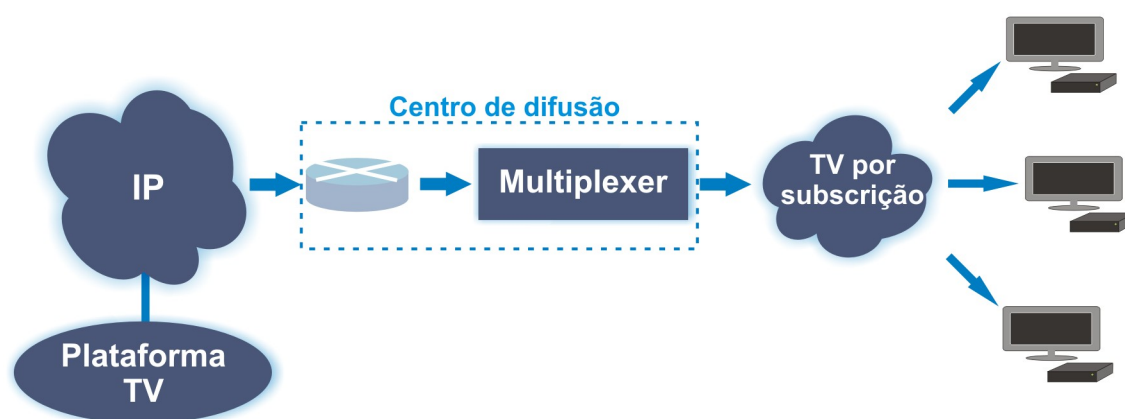


Fig. 60 - Solução para a Televisão por Subscrição

Esta solução oferece as seguintes vantagens:

- o custo de desenvolvimento é baixo, pois é necessário desenvolver uma aplicação por cada plataforma de descodificação (Agente de Avisos à População) e um par de aplicações por cada rede de distribuição de televisão (Servidor de Televisão e Gestor de Inserções);
- o custo de instalação é baixo, pois é possível atualizar centralmente e de forma automática os descodificadores;
- os destinatários do aviso podem ser precisamente selecionados, uma vez que é conhecida a localização dos descodificadores para os quais se disseminam os avisos;
- o aviso é recebido independentemente do canal sintonizado;
- o aviso é recebido por qualquer recetor de televisão que esteja ligado numa das zonas de disseminação do aviso.

Em contrapartida, esta solução possui as seguintes desvantagens:

- a localização dos descodificadores pode diferir da indicada na base de dados de faturação levando a que ocorram falhas na cobertura da população a avisar (e.g. um assinante de televisão via satélite pode levar o descodificador do seu alojamento de residência habitual para o alojamento sazonal);
- o custo de desenvolvimento pode vir a tornar-se futuramente mais elevado, caso o número de plataformas de descodificação aumente por razões comerciais.

7.3.2. Televisão de Acesso Livre

7.3.2.1. Condicionantes

A transição da televisão analógica para a digital até ao ano 2012 proposta pela União Europeia criou uma oportunidade para a introdução de uma plataforma comum que permitisse fornecer aplicações em que os telespetadores pudessem participar.

Tendo em vista esta oportunidade, os organismos de normalização europeus especificaram o MHP (*Multimedia Home Platform*), uma norma de *middleware* para descodificadores de diferentes fabricantes.

Apesar de reconhecer o interesse em encorajar serviços baseados no MHP, a opção da União Europeia foi o de dar liberdade aos Estados Membros na tomada de medidas que assegurassem a interoperabilidade adequada para a televisão digital.

Esta liberdade de ação conduziu a resultados muito divergentes consoante as medidas adotadas pelas autoridades, emissoras de televisão, operadores de rede e fabricantes de cada país.

Em Itália a introdução do MHP no mercado de televisão digital terrestre tem sido um sucesso, existindo atualmente uma boa implantação de descodificadores MHP. O êxito desta introdução deveu-se ao papel ativo assumido pelas autoridades de regulação italianas em resultado de três áreas de intervenção: i) obtenção de um acordo com as emissoras de televisão italianas para utilizar o MHP; ii) especificação de uma norma comum de implementação para os descodificadores; e, iii) subsídio da compra de descodificadores MHP;

Dada a complexidade da especificação MHP, com uma grande variedade de opções de implementação, as emissoras de televisão italianas acordaram voluntariamente numa especificação técnica comum de implementação da MHP e elaboraram um série de ensaios para verificar a conformidade e assegurar a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes.

Reconhecendo a diferença de preços entre os descodificadores MHP e outros descodificadores mais simples as autoridades italianas tomaram a decisão de subsidiar a compra de descodificadores MHP. O subsídio atribuído permitiu superar a diferença de preços entre os descodificadores MHP e os descodificadores não conformes mais baratos. Como consequência da maior procura e da oferta concorrencial, os preços dos descodificadores MHP diminuíram. A procura permitiu que se atingisse uma massa crítica de equipamentos que conduziu a uma boa implantação dos descodificadores MHP em Itália.

Na Dinamarca, Suécia e Finlândia apesar do consenso existente entre as emissoras de televisão e as autoridades, a penetração de descodificadores MHP nunca chegou a ser elevada, devido à diferença de preços face aos descodificadores básicos.

No caso de Portugal, a introdução do MHP tem sido um insucesso. Durante a transição para a televisão digital terrestre (TDT), o regulador não teve um papel ativo e as emissoras de televisão não mostraram interesse em especificar uma norma técnica comum, nem em assegurar a interoperabilidade entre descodificadores de diferentes fabricantes. Em resultado desta apatia proliferam atualmente um número elevado de descodificadores com características muito divergentes.

Esta situação conduz a que não seja exequível propôr a utilização de um Agente de Avisos à População para os descodificadores da televisão digital terrestre. Em alternativa propõem-se soluções que tiram partido das infraestruturas de telecomunicações existentes na rede de distribuição de televisão digital terrestre.

7.3.2.2. Aviso Inserido nos Centros de Difusão

O aviso é inserido diretamente nos Centros de Difusão pelo operador, podendo optar-se pela transmissão de um vídeo ou texto. O envio do aviso é decidido pelas autoridades de proteção civil ao nível nacional, podendo ser rapidamente despoletado. Em resultado desta decisão, todas as emissões são interrompidas simultaneamente.

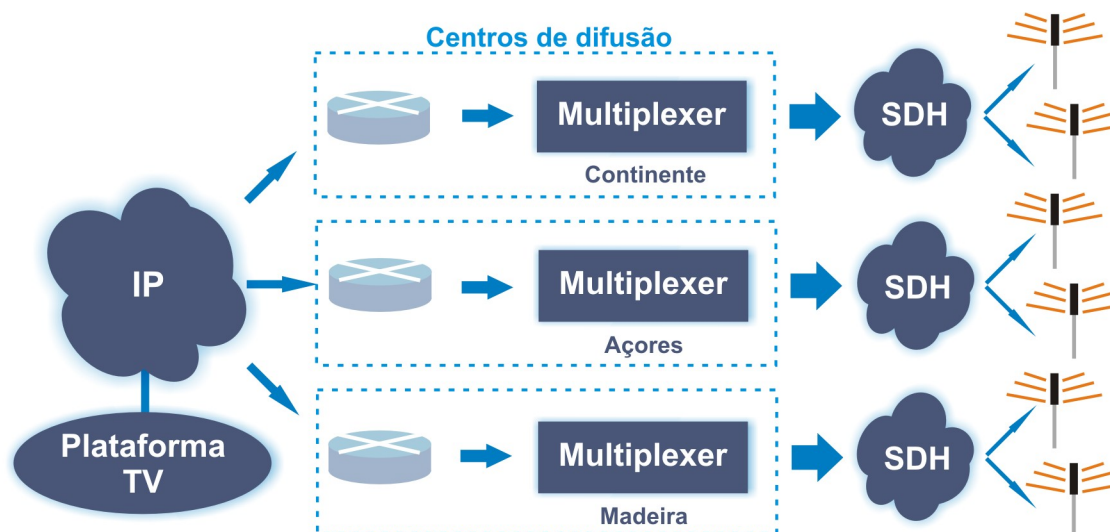


Fig. 61 – Aviso Inserido nos Centros de Difusão

Esta solução oferece as seguintes vantagens:

- o custo de implementação é reduzido, uma vez que os Centros de Difusão possuem atualmente a capacidade de transmitir texto e vídeo;

- o aviso é recebido independentemente do canal sintonizado;
- o aviso é recebido por qualquer recetor de televisão que esteja ligado.

Esta solução apresenta a desvantagem de o aviso apenas poder ser difundido de forma seletiva dentro do Continente, Açores e Madeira. Tal facto pode coibir a utilização desta solução em desastres de âmbito geográfico mais restrito.

7.3.2.3. Aviso inserido nos Emissores

O aviso é inserido pelo operador nos emissores podendo optar-se pela disseminação de um vídeo ou texto. O envio do aviso é decidido pelas autoridades de proteção civil a um nível de governo mais baixo (distrital ou municipal), podendo ser rapidamente despoletado. Em resultado desta decisão todas as emissões são interrompidas simultaneamente.

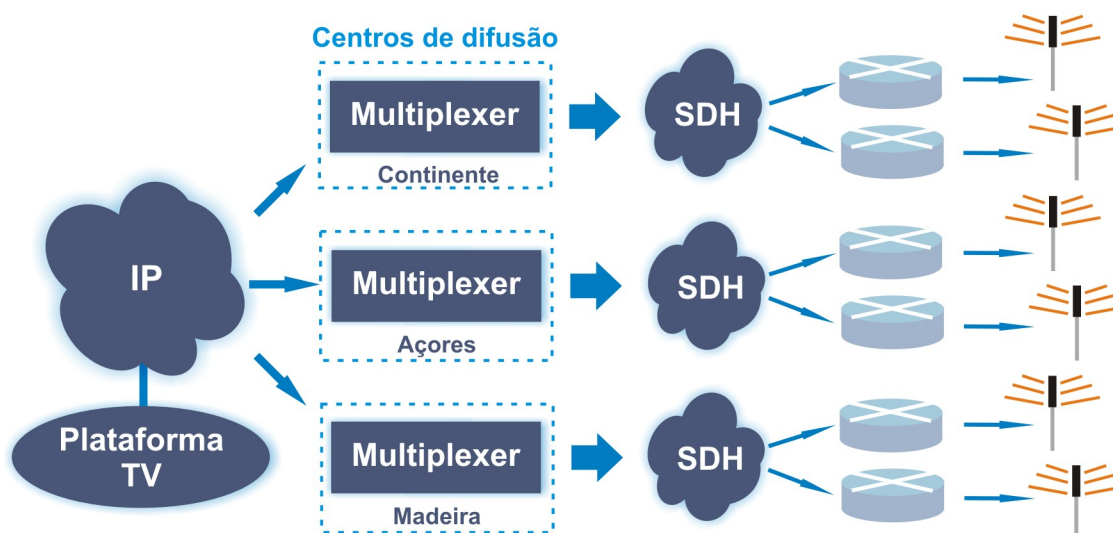


Fig. 62 - Aviso inserido nos emissores

Esta solução oferece as seguintes vantagens:

- o aviso é recebido independentemente do canal sintonizado;
- o aviso é recebido por qualquer recetor de televisão que esteja ligado;
- os destinatários do aviso podem ser mais precisamente seleccionados, uma vez que a difusão do aviso é ao nível do emissor.

Em contrapartida, esta solução possui as seguintes desvantagens:

- o custo de instalação é elevado, uma vez que a implementação desta solução requer a instalação de equipamentos em cada emissor;
- o operador não assumirá o custo de instalação, a menos que os reguladores imponham a implementação desta solução.

7.3.3. Autenticação do Aviso

7.3.3.1. Generalidades

Para autenticar o aviso à população propõe-se que se envie o aviso de texto digitalmente assinado e codificado sob a forma de um código de barras.

No caso da televisão por subscrição, a solução preconizada permite que os descodificadores verifiquem se o aviso é originário das autoridades de proteção civil. No caso da televisão de acesso livre, a solução preconizada possibilita que os telespetadores verifiquem a autenticidade do aviso.

7.3.3.2. Códigos de Barras

Os códigos de barras são um modo eficaz e muito comum de identificar objetos. Constituem a tecnologia de identificação automática mais usada em todo o mundo, estando presente em diversas áreas de atividade.

Atualmente são utilizados dois tipos de códigos de barras: os códigos de barras lineares e os códigos de barras matriciais.

Os códigos de barras lineares ou 1D utilizam barras verticais de diferentes larguras separadas por espaços em branco. São os códigos que predominam no setor da distribuição, encontrando-se na esmagadora maioria dos produtos de supermercado e de farmácia (Manthou e Vlachoupolou, 2001).

Os códigos de barras matriciais ou 2D utilizam barras, quadrados e outros símbolos. Surgem como uma forma de representar uma maior quantidade de informação, expandindo as possibilidades de utilização dos códigos de barras para além da identificação de produtos em

lojas. Estão presentes em diversas áreas de atividades. Um exemplo de códigos de barras 2D são os Códigos QR.

Os códigos QR (*Quick Response Code – QR code*) foram criados em 1994 pela empresa japonesa Denso Wave, uma subsidiária da Toyota, para serem utilizados na identificação de componentes da indústria automóvel. Suportam a correção de erros e permitem armazenar mais de 4000 caracteres de texto (Kato e Tan, 2005). A informação codificada pode ser um endereço na Internet (Fig. 63), um número de telefone, uma localização geográfica ou uma breve descrição.



Fig. 63 - Código QR feito em calçada portuguesa na R. Garrett em Lisboa (http://qrcalcadaportuguesa.com/chiado/home_PT.html)

7.3.3.3. Assinaturas Digitais

As assinaturas digitais são modalidades de assinaturas eletrónicas que adicionam um selo eletrónico a um documento que seja criado através de um sistema criptográfico assimétrico que gera e atribui ao respetivo titular uma chave privada e pública.

A assinatura digital previne que alguém possa alterar quer o conteúdo da informação, quer os dados do verdadeiro emissor do conteúdo. Qualquer mudança na informação será detetada quando a assinatura digital for verificada.

A utilização de assinaturas digitais envolve dois processos: a criação da assinatura digital e a verificação da assinatura digital.

Para criar uma assinatura digital é necessário que o emissor da mensagem gere uma versão reduzida da mensagem conhecida por resumo da mensagem (*hash code*). Este resumo da

mensagem, baseado em algoritmos públicos (SHA-1⁵, SHA-256⁶, etc.), é (quase) único para o texto original. Basta alterar parcialmente o texto original da mensagem para que o resumo gerado seja substancialmente diferente. A assinatura digital é criada pelo emissor quando cifra com a sua chave privada o resumo da mensagem.

Para verificar a assinatura digital é necessário que o recetor da mensagem gere o resumo da mensagem que recebeu e o compare com o resumo obtido por decifragem da assinatura digital recebida. Para decifrar a assinatura digital é necessário que o recetor utilize a chave pública do emissor. Se a assinatura for validada temos a garantia que a mensagem foi enviada pelo emissor da mensagem (autenticidade do emissor da mensagem) e que não foi alterada (integridade da mensagem).

7.3.3.4. Exemplo de Utilização

O exemplo que se segue utiliza como sistema criptográfico o PGP (*Pretty Good Privacy*). Outras alternativas possíveis seriam a utilização de assinaturas digitais baseadas nos certificados digitais emitidos pelas infraestruturas de chaves públicas do Sistema de Certificação Eletrónica do Estado (SCEE) ou do Cartão do Cidadão. O PGP tem a vantagem de possuir uma infraestrutura de chaves públicas simples.

No dia 4 de março de 2012, às 12:44, as autoridades de proteção civil da cidade de Honolulu enviaram o seguinte aviso da ocorrência de uma inundação repentina (Emergency Management, 2012):

THE NATIONAL WEATHER SERVICE IN HONOLULU HAS ISSUED A FLASH FLOOD WARNING FOR THE ISLAND OF OAHU UNTIL 315 AM HST.

AT 1206 AM HST PUNALUU STREAM GAGE SHOWED A RAPID RISE IN WATER LEVEL FROM RUNOFF OF HEAVY RAIN OVER THE KOOLAU MOUNTAIN OR ABOUT 15 MILES NORTH OF HONOLULU. THE AREA OF HEAVY RAIN WAS NEARLY STATIONARY.

OTHER LOCATIONS IN THE WARNING INCLUDE BUT ARE NOT LIMITED TO HAUULA AND KAAAWA.

PRECAUTIONARY/PREPAREDNESS ACTIONS:

⁵ SHA-1 (*Standard Hash Algorithm 1*) – Algoritmo criptográfico utilizado numa grande variedade de aplicações e protocolos de segurança que produz um resumo da mensagem com 160 bits. Em 2005 foram encontradas vulnerabilidades de segurança que levaram ao desenvolvimento e gradual adoção de novos algoritmos criptográficos.

⁶ SHA-256 – Algoritmo criptográfico que produz um resumo da mensagem com 256 bits. É considerado o sucessor do SHA-1.

PROPOSTA DE SISTEMA DE AVISO MULTICANAL PARA EMERGÊNCIAS

A FLASH FLOOD WARNING MEANS FLASH FLOODING IS IMMINENT OR OCCURRING IN STREAMS ROADS AND LOW LYING AREAS. MOVE TO HIGHER GROUND NOW.

DO NOT CROSS FAST FLOWING OR RISING WATER IN YOUR VEHICLE OR ON FOOT. TURN AROUND DON/T DROWN.

THIS FLASH FLOOD WARNING REPLACES THE FLOOD ADVISORY THAT WAS IN EFFECT FOR THE ISLAND OF OAHU IN HONOLULU COUNTY.

RUNOFF FROM THIS STORM MAY ALSO CAUSE ROCK AND MUDSLIDES IN STEEP TERRAIN.

THIS WARNING MAY NEED TO BE EXTENDED BEYOND 315 AM HST IF FLASH FLOODING PERSISTS.

CALL 9-1-1 IMMEDIATELY SHOULD YOU HAVE A FLOOD RELATED EMERGENCY.

A criação de uma assinatura digital para este aviso adicionaria linhas de texto semelhantes à seguinte informação:

```
-----BEGIN PGP SIGNED MESSAGE-----  
Hash: SHA1  
  
80ef3f675a1e4afde24aa32b3b4b604ac84c0c64  
-----BEGIN PGP SIGNATURE-----  
Version: GnuPG v2.0.19 (GNU/Linux)  
  
iEYEARECAAYFAlD0PwcACgkQUk/t4sVriv+bYACgrs7aC4w0iGDkdRfui87pQAMu  
WZ4AnA39f6oJE9R+RMRx1flb76Ugkspm  
=b/oE  
-----END PGP SIGNATURE-----
```

Posteriormente, o aviso assinado seria enviado sob a forma do código QR correspondente (Fig. 64).

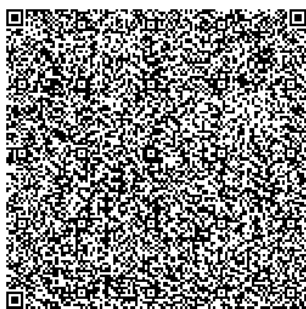


Fig. 64 - Código QR correspondente ao aviso assinado

No caso da televisão por subscrição, os decodificadores podem verificar se a mensagem foi enviada pelas autoridades de proteção civil. O Agente de Avisos à População, uma aplicação residente no decodificador, tendo recebido o aviso e determinado que o decodificador se encontra na área de disseminação do aviso, processa a imagem do aviso e capta o código QR. Posteriormente, com base na leitura do código QR e na chave pública das autoridades de proteção civil previamente carregada pode validar a assinatura digital contida no código QR.

Caso verifique a autenticidade do aviso, interrompe a emissão sintonizada pelo telespetador e mostra o aviso; caso contrário, mantém a emissão que o telespetador tenha sintonizado.

No caso da televisão de acesso livre, a verificação da autenticidade pode eventualmente ser feita pelos telespetadores. Para este efeito é necessário que o telespetador possua um telemóvel equipado com uma câmara fotográfica e que o telemóvel possibilite a instalação de um leitor de códigos QR e um verificador de assinaturas PGP, uma exigência facilmente possível com um smartphone ou telemóvel convencional. Para verificar se a mensagem foi enviada pelas autoridades de proteção civil, bastaria fotografar o código QR com o leitor de códigos QR. Em seguida utilizando o verificador de assinaturas PGP poder-se-ia validar a assinatura digital recebida. Validada a assinatura ter-se-ia a garantia que o aviso tinha sido enviado pelas autoridades de proteção civil e que não tinha sido alterado em qualquer passo do processo de transmissão.

7.4. Conclusões

As propostas apresentadas para uma rede de aviso de televisão, não sendo uma solução completa, oferecem um modelo para construir uma rede de aviso suportada por esta tecnologia de comunicação.

A conceção da rede de aviso proposta foi elaborada de forma a cobrir a totalidade das plataformas televisivas existentes em Portugal. Dadas as diferenças tecnológicas existentes entre as plataformas propuseram-se soluções distintas para a televisão por subscrição e para a televisão de acesso livre.

A solução proposta para a televisão por subscrição possui um elevado grau de seletividade. É possível enviar o aviso para uma área precisa, uma vez que são conhecidas a localização dos recetores para os quais se difunde o aviso.

As soluções propostas para a televisão de acesso livre, em contrapartida, possuem um baixo grau de seletividade. A solução menos dispendiosa, onde é necessário intervir apenas ao nível dos centros de difusão, possui a capacidade de enviar o aviso a nível regional, correspondente ao Continente, Açores e Madeira. A solução mais dispendiosa, onde é necessário intervir ao nível dos emissores, possui a capacidade de enviar o aviso para áreas mais pequenas, correspondentes a populações com dezenas de milhares de pessoas. As soluções propostas

foram fortemente condicionadas pela situação atual do mercado da televisão de acesso livre em que existe um número muito grande de plataformas de descodificação, tornando inexecutável a atuação ao nível dos descodificadores.

8. Conclusões

8.1. Introdução

Este capítulo apresenta a síntese do trabalho desenvolvido, realçando as suas principais contribuições. São igualmente apresentados alguns tópicos considerados relevantes para a continuação deste trabalho no futuro.

8.2. Síntese

Atualmente as autoridades de proteção civil dispõem de um leque limitado de soluções que possibilitem uma comunicação com a população em situações de perigo, de forma rápida, previsível e atempada. Esta falta é particularmente notada em situações de emergência, como os desastres naturais ou tecnológicos, quando as autoridades de proteção civil querem informar a população residente ou presente numa determinada área, das ações que deve executar para limitar os danos potenciais.

Uma análise dos diversos canais de comunicação que podem ser utilizados para o efeito mostra que qualquer deles, de forma isolada, possui limitações, não conseguindo satisfazer todos os requisitos desejáveis para utilização no aviso à população.

Neste trabalho, propõe-se uma arquitetura de sistema de redes de aviso baseada na agregação e integração de diversas redes de aviso independentemente do canal de comunicação que utilizem. A integração de diversas redes de aviso permite a construção de sistemas de aviso suportados em vários canais de comunicação, designados sistemas de aviso multicanal.

Para evidenciar as funcionalidades oferecidas pela arquitetura proposta foram especificadas e analisadas redes de aviso baseadas em dois canais que se considera serem particularmente adequados para esta utilização: SMS e televisão.

Para cada um dos canais foram identificadas algumas limitações pertinentes para o uso no aviso à população e apresentadas soluções para ultrapassar ou reduzir o seu impacto, nomeadamente para aumento da cobertura da população, melhoria da seletividade do aviso, utilização da língua preferida pelo destinatário, aumento do número de mensagens que é possível enviar em tempo útil e introdução de mecanismos de autenticação do aviso.

8.3. Contribuições

As principais contribuições do presente trabalho são seguidamente resumidas.

- *Proposta de uma arquitetura para sistemas de redes de aviso* – A arquitetura de sistema de redes de aviso proposta permite a integração de redes de aviso baseadas em diferentes tecnologias de comunicação. A utilização integrada de redes de aviso baseadas em diferentes tecnologias de comunicação permite, para além das óbvias vantagens em termos de redundância e resiliência, tirar partido das complementaridades existentes, nomeadamente na cobertura da população e na riqueza do conteúdo. Para além disso, a integração no sistema de redes de aviso que possuem uma capacidade de configuração dinâmica (SMS e televisão, por oposição às tradicionais sirenes) permite conceber planos para a gestão de situações de risco de qualquer tipo e em praticamente qualquer local (p.ex. um acidente com um camião cisterna com produto tóxico, um acidente rodoviário ou ferroviário de grandes proporções, inundações, etc).
- *Proposta de rede de aviso baseada no SMS* – A rede de aviso proposta permite o envio de avisos através de telemóveis de uma forma seletiva e, na medida do possível, numa língua compreendida pelo destinatário. A área para a qual as mensagens podem ser enviadas pode ser tão pequena como uma célula ou tão grande como o país. Esta tecnologia possui limitações que podem limitar a sua utilização, uma vez que a arquitetura das redes celulares restringe o volume de mensagens que pode ser enviado para uma determinada área num período limitado de tempo. Foram, no entanto, identificadas formas de minorar o impacto desta limitação.
- *Conceção de uma metodologia para avaliar a capacidade das redes de aviso baseadas em SMS* – O modelo analítico desenvolvido constitui uma abordagem inovadora para avaliar a capacidade de envio de mensagens das redes GSM, permitindo determinar se o SMS é adequado para ser utilizado como canal de comunicação para o aviso à população num cenário de desastre. É, portanto, uma metodologia que pode ser utilizada pelas autoridades de proteção civil para estimar se uma rede de aviso baseada em SMS é potencialmente adequada para utilização em cenários concretos.
- *Proposta de rede de aviso baseada na televisão* – A rede de aviso proposta permite o envio de avisos através de recetores de televisão que estejam ligados. Os avisos difundidos têm a particularidade de poder ter um conteúdo rico, podendo incluir

gráficos complexos (e.g. para mapas ou planos de evacuação), voz, música e filmes. A televisão não possui problemas de escalabilidade, tornando-a num canal adequado para o envio de avisos a um número elevado de pessoas. Face à forma como foi implementada em Portugal, a televisão digital terrestre não permite o envio de avisos de forma seletiva. No caso da televisão por subscrição, cuja taxa de penetração tem vindo a aumentar, propõe-se uma solução que permite o envio seletivo de avisos.

8.4. Tópicos para Trabalho Futuro

8.4.1. Generalidades

Neste trabalho, abordou-se o problema do aviso à população em situações de desastre, propondo-se uma arquitetura vocacionada para a utilização integrada de diversos canais de comunicação, um sistema de aviso multicanal, e analisou-se a utilização de dois canais de comunicação: o SMS disponibilizado pela rede móvel GSM e a televisão. Os tópicos para trabalho futuro que a seguir se apresentam correspondem, por um lado, a um aprofundamento de aspetos da proposta que não houve oportunidade de abordar de forma conclusiva e, por outro lado, a extensões da mesma.

8.4.2. Simulação do SMS em redes GSM

Conforme descrito no capítulo 6 e no anexo, iniciou-se o desenvolvimento de um simulador do SMS em redes GSM tendo em vista verificar o seu comportamento em situações de tráfego intenso como as que poderão ser geradas pelo envio de um aviso a uma população numerosa. Esta via teve de ser abandonada, optando-se por uma modelação analítica.

Considera-se, no entanto, com interesse retomar o desenvolvimento do simulador, tendo em vista obter uma confirmação dos resultados da modelação analítica por uma via alternativa.

8.4.3. Piloto do subsistema de criação e expedição de avisos

A operacionalização do sistema de aviso multicanal proposto exige o desenvolvimento de um subsistema de criação e expedição de avisos amigável, eficaz e robusto e de *gateways* com a funcionalidade adequada. O desenvolvimento de um piloto de subsistema e de um ou mais

gateways afigura-se muito importante por duas razões: permitir ajustar alguns aspetos da proposta, nomeadamente a funcionalidade dos *gateways*; e, demonstrar às entidades responsáveis pela gestão do subsistema a viabilidade e o potencial da abordagem integrada que se propõe.

8.4.4. Comportamento do SMS em Redes GSM e UMTS

O UMTS é uma rede móvel com uma crescente adesão por parte do mercado. Em Portugal, no fim de 2012, o número de utilizadores com acesso aos serviços UMTS tinha atingido os 11,5 milhões de utilizadores, correspondente a uma utilização por parte de 68,3% dos assinantes do serviço móvel (Anacom, 2013a).

Como consequência do aumento de interesse pelo UMTS verificou-se um esforço, por parte de todos os operadores, em melhorar a cobertura desta rede a nível nacional. Estes esforços conduzem a que o UMTS seja a rede com a segunda melhor cobertura nacional (Anacom, 2011).

Face a esta situação, torna-se interessante explorar a possibilidade de enviar o aviso à população utilizando o SMS em ambas as redes, GSM e UMTS. Tal abordagem permitiria aumentar a capacidade de envio numa determinada zona geográfica, aumentando assim a rapidez e a eficácia com que se poderia entregar o aviso.

Sugere-se a modelação do comportamento do envio do aviso através do SMS utilizando a rede UMTS, de forma a poder analisar e avaliar as capacidades que esta solução adiciona.

8.4.5. Toques das Sirenes a Nível Europeu

Atualmente, as sirenes constituem o meio mais utilizado para avisar as populações. Esta é uma situação que ocorre em Portugal e em muitos outros países (Jagtman, 2011; Sorenson, 2000).

Apesar de esforços, como o deste trabalho, para incentivar a utilização de outros canais de comunicação, prevê-se que continuem a ser utilizados sistemas baseados em sirenes uma vez que as correspondentes redes de avisos estão operacionais, bem como devido à resistência social à mudança para tecnologias cujo funcionamento é menos conhecido.

Todavia, para além dos toques das sirenes serem de difícil compreensão, têm a particularidade de diferirem consoante a localidade onde são difundidos. Veja-se na Tabela 33, a título de exemplo, a diferença de significado de vários toques de sirenes nos concelhos de Arcos de Valdevez e Sines.

Tabela 33 - Toques de sirene em diferentes localidades
(Arcos de Valdevez, 2013; Sines. Câmara Municipal, 2009)

Toques	Arcos de Valdevez	Sines
1	Chamar motorista	Incêndio (vila)
2	Acidente	Acidente no mar
3	Incêndio florestal	Incêndio florestal ou rural
4	Incêndio (vila)	
5	Incêndio (aldeia)	Incêndio industrial
10	Plano de Emergência Municipal	

Estas diferenças dificultam ainda mais a compreensibilidade do toque. Sugere-se a elaboração de estudos para definir um conjunto reduzido de toques, de fácil compreensão, que possam ser propostos a nível nacional ou mesmo potencialmente a nível europeu. Esta abordagem permitiria aumentar o número de pessoas com capacidade de identificar o acontecimento anunciado pelo toque das sirenes.

8.4.6. Rede de Aviso baseada no RDS

A rádio analógica constitui um canal de elevada popularidade, particularmente entre os condutores de veículos automóveis. Para esta população, a rádio analógica é o canal mais apropriado para receber um aviso, uma vez que possui um acesso limitado aos telemóveis (por razões de segurança) e não têm acesso à televisão.

Em Portugal, como noutros países europeus, as tentativas de implantar o DAB (*Digital Audio Broadcast*), um sistema de rádio digital terrestre, têm falhado. A rádio analógica constitui uma tecnologia madura, com elevada difusão e a larga maioria dos ouvintes está satisfeita com a sua qualidade sonora. Antevê-se, por estes motivos, que a rádio analógica continue a ser popular durante muitos anos.

A rádio analógica baseada em FM (*Frequency Modulation*), onde são transmitidas a generalidade das emissões, inclui um sistema de transmissão de dados conhecido como RDS

(*Radio Data System*). O RDS é atualmente utilizado para facilitar a seleção de programas de rádio e transmitir informação de tráfego.

Uma possibilidade a explorar para uma rede de aviso baseado na rádio analógica FM seria a extensão do RDS de forma a suportar o envio de um aviso à população.

Referências

- ADUSEI, I. K.; KYAMAKYA, K.; JOBMANN, K. J. – Mobile Positioning Technologies in Cellular Networks: An Evaluation of their Performance Metrics. Proceedings of the Military Communications Conference 2002. New York: IEEE, 2002. p. 1239-1244.
- AGARWAL, N.; CHANDRAN-WADIA, L.; APTE, V. – Capacity Analysis of the GSM Short Message Service. National Conference on Communications. New Delhi: IEEE, 2004, p. 1-5.
- AMARAL, S. [et al.] – Plano de Emergência Interno da Barragem de Pedrógão – Volume 1, Lisboa: LNEC, 2008. 142 p. Relatório 164/2008.
- ANACOM – Disponibilidade Geográfica da Banda Larga em Portugal, Lisboa: Anacom, (2008a).
- ANACOM – Concurso Público para a Atribuição de um Direito de Utilização de Frequências de Âmbito Nacional para o Serviço de Radiodifusão Televisiva Digital Terrestre Relativo ao Multiplexer A, Lisboa: Anacom, (2008b).
- ANACOM – Quadro Nacional de Atribuição de Frequências 2010/2011, Lisboa: Anacom, (2010a).
- ANACOM – Direito de Utilização de Frequências da Optimus, Lisboa: Anacom, (2010b). ICP-Anacom N° 01/2010.
- ANACOM – Direito de Utilização de Frequências da TMN, Lisboa: Anacom, (2010c). ICP-Anacom N° 02/2010.
- ANACOM – Sistemas de Comunicações Móveis GSM/UMTS: Aferição da Qualidade de Serviço, Lisboa: Anacom, 2011.
- ANACOM – Direito de Utilização de Frequências para Serviços de Comunicações Eletrónicas Terrestres da Vodafone Portugal, Lisboa: Anacom, 2012.
- ANACOM – Serviços Móveis: Informação Estatística (4º Trimestre de 2012), Lisboa: Anacom, (2013a).

- ANACOM – Serviço de Televisão por Subscrição: Informação Estatística (4º Trimestre de 2012), Lisboa: Anacom, (2013b).
- ANACOM – Glossário de comunicações eletrónicas e serviços postais [em linha]. Lisboa: Anacom. [Consult. 2012-11-03] Disponível em: www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=277980.
- ANPC – Plano Nacional de Emergência de Proteção Civil. Versão para consulta pública (maio de 2012). Lisboa: ANPC, 2012.
- ANPC; INAG – Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens. Lisboa: ANPC, 2009. Cadernos Técnicos Prociv nº 5.
- ARCOS DE VALDEVEZ. Bombeiros Voluntários de – Informações Úteis [em linha]. Arcos de Valdevez: Bombeiros Voluntários de Arco de Valdevez. [Consult. 2013-01-27] Disponível em: www.bvav.pt.
- BANKS, J. – Introduction to Simulation. Proceedings of 2000 Winter Simulation Conference. 2000.
- BBC – The Pager Rings Off. BBC News, London: BBC, 2001.
- BERREN, M.R.; BEIGEL, A.; GHERTNER, S. - A typology for the classification of disasters. Community Mental Health Journal. New York:Springer, 1980. Vol. 16, Issue 2, p. 103-111.
- BERG, M. – Performance of Mobile Station Location Methods in a Manhattan Microcellular Environment, 2001. 6 p.
- BLUMENTHAL, J.; GROSSMANN, R.; GOLATOWSKI, F.; TIMMERMANN, D. – Weighted centroid localization in ZigBee-based sensor networks. Proceeding of the IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, New York: IEEE, 2007. p. 1-6.
- BROWN, T. X. – Celullar Performance Bounds via Shotgun Cellular Systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. New York: IEEE, 2000. Vol. 18, No. 11, p. 2443-2455.

- BULUSU, N.; HEIDEMANN, J.; ESTRIN, D. – GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices. IEEE Personal Communications. New York: IEEE, 2000. Vol. 7, No. 5, p. 28-34.
- CARSON, J. S. – Modeling and simulation worldviews. Proceedings of 1993 Winter Simulation Conference. New York: ACM, 1993. p. 18-23.
- CARSON, J. S. – Introduction to modeling and simulation. Proceedings of 2004 Winter Simulation Conference. New York: ACM, 2004. p. 9-16.
- CASTRO, D. António José de – Collecção de Papeis Officiaes da Junta Provisional do Governo Supremo, Porto: Typographia de Antonio Alvarez Ribeiro, 1808.
- CEPT – Memorandum of Understanding On the Implementation of a Pan European Digital Cellular Mobile Telecommunications Service by 1991. Copenhagen: CEPT, 1987.
- CEREJO, J. A. – Câmara de Lisboa vai ter cinco ecrãs gigantes para informação municipal. Público. Lisboa: Público, 2004. (16 de junho de 2004).
- CHORIST – CHORIST Project [em linha]. [Consult. 2012-06-01]] Disponível em: www.chorist.eu.
- COIMBRA. Câmara Municipal – Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil de Coimbra, Coimbra: Câmara Municipal de Coimbra, 2009.
- COLEMAN, T. [et al.] – The History (and Future) of Tornado Warning Dissemination in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society. Boston: American Meteorological Society. 2011, Vol. 92, Issue 5 (May 2011).
- DECRETO-LEI nº 344/2007. D.R. I Série. A (2007-10-15), Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.
- DENICOLI, S. – A implementação da Televisão Digital Terrestre em Portugal, Universidade do Minho, 2012. 341 p. Tese de doutoramento.
- DOMINGUES, J. D. D. – Arquitetura SIP IPTV para Redes Heterogéneas. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009. 101 p. Tese de Mestrado.

- ELBERT, B. – The Satellite Communication Applications Handbook, Norwood: Artech House, 2004. 552 p. ISBN 1-58053-490-2.
- ELLIOTT, A. R. – Texters to experience 6 hour delays on New Year's Eve [em linha]. Pocket-lint. Ascot: Pocket-lint, 2007. [Consult. 2013-01-22] Disponível em: <http://www.pocket-lint.com/news/11895/palm-new-years-text-delay>.
- EM-DAT – EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. EM-DAT. Brussels: Université Catholique de Louvain. 2012. [Consult: 2013-02-05] Disponível em: www.endat.be.
- EMERGENCY MANAGEMENT, Department of – Flood Warning Alert. Honolulu: Department of Emergency Management. 2012, (2012-03-04).
- ETSI – Digital Video Broadcasting (DVN): DVB Specification for Data Broadcasting. Sophia Antipolis: ETSI, 2008. ETSI EN 301 192.
- FALAS, T.; KASHANI, H. – Two-Dimensional Bar-Code Decoding with Camera-Equipped Mobile Phones, Pervasive Computing and Communications Workshops 2007, p. 597-600.
- FERNANDES, J. P. – Emergency Warnings with Short Message Service, Integration of Information for Environmental Security, New York:Springer. 2008. p. 191-196.
- FLEMING, P. J.; STOLYAR, A. L.; SIMON, B. – Closed-form Expressions for Other Cell Interference in Cellular CDMA, Boulder: Univ. of Colorado, 1997. Technical Report 116.
- FORTUNATO, A.; RODRIGUES, M.; BRITO, F. – Inundação na Ria de Aveiro e no Estuário do Mondego: Determinação dos Níveis Extremos na Embocadura da Ria de Aveiro, Lisboa: LNEC, 2011. 45 p. Relatório 119/2011.
- GAMBRELL, J. – School shooting text rumours emptied elementary school by 10am, Washington: Washington Post, 2007. Disponível em: www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/12/29/AR20071%22901050.html?sub=new.
- GLANTZ, Michael H. – Early Warning Systems: Do's and Don'ts, Darby: Diane Publishing, 2004. 90 p.

- GOMES, Adelino – 51 milhões de mensagens SMS pelo Natal. Público. Lisboa: Público, 2012. Disponível em: www.publico.pt/sociedade/noticia/51-milhoes-de-mensagens-sms-pelo-natal-203069.
- GUHA-SAPIR, D; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. – Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends. Bruxelas: CRED, 2012.
- HAN, D. [et al.] – Access Point Localization Using Local Signal Strength Gradient. LNCS, Hidelberg: Springer. 2009, Vol. 5448, p. 91-100.
- HASIJA, K. – Know More – SDCCH [em linha], 2007. [Consult. 2012-12-05] Disponível em: www.slideshare.net/deepakecrbs/sdcch.
- HIGHTOWER, J.; VAKILI, C.; BORRIELO, G.; Wnat, R. – Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System, 2001, p. 1-18.
- HILLEBRAND, F. – Short Message Service (SMS): The Creation of Global Personal Text Messaging. Chichester: John Wiley & Sons, 2010. 195 p.
- HISPASAT – Cobertura Global Hispasat 1E [em linha], 2013. [Consult. 2013-01-11] Disponível em: www.hispasat.com/Detail.aspx?SectionsId=219&lang=pt.
- IDATE – TV 2010: Markets & Trends, Facts & Figures. Montpellier: IDATE, 2010.
- INE – Censos 2011: Resultados Definitivos. Lisboa: INE, 2012. 560 p.
- INE – Inquéritos às Despesas Familiares 2010/2011. Lisboa: INE, 2011. 99 p.
- INGALLS, R. – Introduction to Simulation, Proceedings of 2008 Winter Simulation Conference. New York: IEEE, 2008. p. 17-26.
- ITU – Measuring the Information Society. Geneva: ITU, 2012. 174 p.
- JAGTMAN, H. M. – Cell Broadcast Trials in The Netherlands: Using Mobile Phone Technology For Citizens' Alarming. Reliability Engineering & System Safety. Amsterdam: Elsevier, 2011. Vol. 95, Issue 1 (January 2010), p. 18-28.
- JAKARTA POST – Indonesia: Police question six more over SMS hoax. Jakarta Post. Jakarta: Jakarta Post, 2006. [Consult. 2013-01-22] Disponível em: www.asiamedia.ucla.edu/article-southeastasia.asp?parentid=50410.

- JONES K. L., NGUYEN H. – An end-to-end Architecture for Distributing Weather Alerts to Wireless Handsets. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). Bellingham: SPIE, 2005, Vol. 5819, p. 427-435.
- KATO, H.; TAN, K – 2D Barcodes for Mobile Phones. International Conference on Mobile Technology, Applications and Systems 2005. New York: IEEE, 2005. 8 p.
- KIM, M.; FIELDING, J.J.; KOTZ, D. – Risks of using AP locations discovered through war driving. LNCS. Heidelberg: Springer, 2006. Vol. 3968, p. 67-82.
- KRUMM, J.; CERMAK, G.; HORVITZ, E. – RightSPOT: A novel sense of location for a Smart Personal Object. Ubicom 2003. New York: ACM, 2003. p. 36-43.
- LACKNER, M. R. – Towards a General Simulation Capability. Proceedings of the Sprint Joint Computer Conference. Pittsburg: ISA, 1962. p. 1-14.
- LE BODIC, G. – Mobile Messaging Technologies and Services: SMS, EMS and MMS. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 405 p. ISBN: 0-470-01143-2.
- MAFRA. Câmara Municipal – Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Mafra. Mafra: Câmara Municipal de Mafra, 2010.
- MANTHOU, V.; VLACHOPOULOU, M. – Bar-code Technology for Inventory and Marketing Management Systems: A Model for its Development and Implementation. International Journal of Production Economics. Amsterdam: Elsevier, 2001. Vol. 71, No. 1-3, p. 157-164.
- MARKTEST – Audiências TV em 2011 e 2012 [em linha], Lisboa: Marktest, 2013. [Consult. 2013-01-20] Disponível em: www.marktest.com/wap/a/n/id~1ada.aspx.
- MARKTEST – Posse de telemóvel nos 92% [em linha]. Lisboa: Marktest, 2012. [Consult. 2013-01-16] Disponível em: www.marktest.com/wap/a/n/id~18f8.aspx.
- MASINI, B.; FONTANA, C.; VERDONE, R. – Provision of an Emergency Warning Service through GPRS: Performance Evaluation. Proceedings of the 2004 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. New York: IEEE, 2004. p. 1098-1102.

- MCGINLEY, M.; TURK, A. – Newsbug Emergency Messages Research Report. Perth: Interactive Television Research Institute, 2004.
- MCLEAN, C.; LEONG, S. – The Expanding Role of Simulation in Future Manufacturing, Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference, 2001.
- MILETI, D. S. – Natural Hazard Warning Systems in the United States: A Research Assessment, Boulder: Institute of Behavioral Science, 1975. 97 p. Monograph.
- MILETI, D.S.; SORENSEN, J.H. – Communication of Emergency Public Warnings: A Social Science Perspective and State-of-the-Art Assessment. Washington: Federal Emergency Management Agency, 1990. 166 p.
- MIRANDELA. Câmara Municipal – Breve Historial da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Mirandela [em linha], [Consult. 2011-01-14] Disponível em: www.cm-mirandela.pt/index.php?oid=6701.
- MOORE, H. E. [et al.] – Before the Wind: A Study of Response to Hurricane Carla. Washington: National Research Council, 1963. Disaster Study 19.
- NANCE, R. E. – Simulation Education: Past Reflections and Future Directions. Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference. New York: IEEE, 1995. Vol. 2, p. 1595-1601.
- NAVARRO, J.; MARTINEZ, J.; ROMERO, J. – Signaling Capacity in GSM and (E)GPRS Networks. IEEE 55th Vehicular Technology Conference. New York: IEEE, 2002, p. 1970-1974.
- NCS – SMS over SS7. Arlington: Office of the Manager Communication System, 2003. 73 p. NCS TIB 03-2 (December 2003).
- NYQUETEC – Wireless Priority Service for National Security/Emergency Preparedness: Algorithms for Public Use Reservation and Network Performance. Millersville: Nyquetec, 2002. 63 p.
- OASIS – Emergency Data Exchange Language (EDXL-DE) 1.0. Burlington: OASIS, 2006. 43p.

- OBERCOM – A Sociedade em Rede em Portugal 2010: O Serviço Público de Televisão em Portugal. Lisboa: Obercom, 2011. 49 p.
- OBERCOM – Caracterização do Acesso e Percepções sobre Termos Tecnológicos Associados à TDT, Lisboa: Obercom, 2012. 31p.
- OFFICE OF CIVIL DEFENSE – Survival Under Atomic Attack [Registo vídeo], Washington: Office of Civil Defense, 1951. Disponível em: archive.org/details/Survival1951.
- OLIVEIRA COSTA, C. [et al.] – Alqueva-Pedrógão Joint Early Warning System. Vingt Troisième Congrès des Grands Barrages. Paris: ICOLD, 2009.
- ORCHESTRA – ORCHESTA Project [em linha]. 2010. [Consult. 2012-06-01] Disponível em: www.eu-orchestra.org.
- OTSASON, V.; VARSHAVSKY, A.; LA MARCA, A.; DE LARA, E. – Accurate GSM Indoor Localization. UbiComp 2005. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. LNCS 3660, p. 141-158.
- PALHA FERNANDES, J. – Emergency Warnings with Short Message Service. Integration of Information for Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2008, p. 205-210.
- PAU, L-F; SIMONSEN, P. – Emergency Messaging to General Public Via Public Wireless Networks. Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference. ISCRAM, 2008. p. 3-11.
- PORTELA, J. N.; ALENCAR, M. S. - Cellular Coverage Map as a Voronoi Diagram. Journal of Communication and Information Systems. Campinas: Unicamp, 2008. Vol 23, No 1 (April 2008), p. 22-31.
- PUBLIC SAFETY CANADA – The September 11, 2001 Terrorist Attacks - Critical Infrastructure Protection Lessons Learned. Ottawa: Public Safety Canada, 2002.
- RAIVIO, Y. T.; ADDAMS-MORING, R. – Mobile Emergency Announcements with Really Simple Syndication (RSS 2.0). Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference. ISCRAM, 2006. p. 164-171.

- REGULAMENTO nº 99/2009. D.R. 2ª Série. Parte E (2009-02-23), ICP - Autoridade Nacional de Comunicações, Lisboa.
- RESOLUÇÃO do Conselho de Ministros nº 26/2009. D.R. 1ª Série (2009-03-17), Presidência do Conselho de Ministros.
- ROBOTGOD – Hoax text message spreads tsunami terror in Indonesia [em linha]. Digital Journal. Toronto: Digital Journal, 2007. [Consult. 2013-01-22] Disponível em: digitaljournal.com/article/192386.
- ROGERS, D.; TSIRKUNOV, V. – Implementing Hazard Early Warning Systems, Geneva:GFDRR, 2011. 48 p.
- ROGERS, G. O.; NEHNEVAJSA, J. – Warning Human Populations of Technological Hazard. ANS Topical Meeting on Radiological Accidents: Perspectives and Emergency. Washington:American Nuclear Society, 1986. p. 357-361.
- RUTHERFORD, W. H.; BOER, J. - The Definition and Classification of Disasters, Amsterdam: Elsevier, 1983. Vol. 15, No. 1, p. 10-12.
- SALVATERRA DE MAGOS. Bombeiros Voluntários – História dos Bombeiros Voluntários de Salvaterra de Magos [em linha]. Salvaterra de Magos: Bombeiros Voluntários de Salvaterra de Magos, 2011. [Consult: 2011-01-14] Disponível em: bvsvalaterra.no.sapo.pt/historia.htm.
- SAVVIDES, A.; CHIH-CHIEH, H.; STRIVASTAVA, M.B. – Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks Sensors. Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2007. p. 166-179.
- SEKERCIOGLU, Y. A.; VARGA, A.; EGAN, G. K. – Parallel Simulation Made Easy with OMNeT++. Proceedings of the European Simulation Symposium (ESS'03). Vista: Society for the Computer Simulation, 2003.
- SILLEM, S.; WIERSMA, E. – Comparing Cell Broadcast and Text Messaging for Citizens Warning. Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference. ISCRAM, 2006. p. 147-153.

- SILVA E LIMA, A. – Bombeiros Voluntários de Figueiró dos Vinhos: História e Património de uma Corporação (Volume II). Universidade Aberta, 2010. 127 p. Tese de Mestrado.
- SINES. Câmara Municipal de – A Vida nas Mãos: História dos Bombeiros Voluntários de Sines, Câmara Municipal de Sines, Sines, 2009. 107 p.
- SOLANKI, P.; HU, H. – Techniques used for Location-Based Services: A Survey. Colchester: University of Essex, 2005. 27 p. Technical Report CSM-428.
- SORENSEN, J. H. – Hazard warning systems: review of 20 years of progress. Natural Hazards Review. Reston: ASCE, 2000. Vol. 1, 119 p.
- SUBRAMANIAN, A., DESHPANDE, P., GAOJGAO, J., DAS, S. – Drive-by localization of roadside WiFi networks. Proceedings of IEEE INFOCOM, New York: IEEE, 2008. p. 718-725.
- SULISTIO, A.; YEO, C. S.; BUYYA, R. – A Taxonomy of Computer-Based Simulations and its Mapping to Parallel and Distributed Systems Simulation Tools. Software: Practice and Experience. Chichester: John Wiley & Sons, 2004, Vol. 34, No. 7, p. 653-673.
- SZPOTANSKI, Dariuz – Improving GSM localization accuracy in urban environments by analyzing factors that affect signal strength. Open University, 2007. 89 p. Master of Science thesis.
- THE TELEGRAPH – Girl, 10, Used Geography Lesson to Save Lives, The Telegraph. London: The Telegraph, 2005. (2005-01-01).
- TMN – Características do Interface Público das Redes GSM e UMTS da TMN de acordo com o Regulamento R&TTE, TMN, Lisboa, Portugal, 2009. 7 p.
- TRAYNOR, Patrick – Characterizing the Security Implications of Third-Party Emergency Alert Systems Over Cellular Text Messaging Services. IEEE Transactions on Mobile Computing. New York: IEEE, 2012, Vol. 11, Issue 6 (June 2012), p. 983-994.
- UNECE – United Nations Code for Trade and Transport Locations (UN/LOCODE). Geneva: United Nations, 2011.
- UNISDR – Terminology on Disaster Risk Reduction, Geneva: United Nations, 2009. 35 p.

- UNITED NATIONS – Global Survey of Early Warning Systems, United Nations, New York, United States, 2006. 56 p.
- VARGA, A. – Parametrized Topologies for Simulation Programs, Budapest: Technical University of Budapest, 1998. 6 p.
- VARGA, A. – OMNeT++ User Manual (Version 4.3). Budapest: OpenSim, 2011. 428 p.
- VARGA, A.; HORNIG, R. – An Overview of the OMNeT++ Simulation Environment. Simutools '08: Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops. Gent: ICST, 2008. p. 1-10.
- VARSHAVSKY, A [et al.] – Are GSM phones The solution for localization?. Proceedings of the 7th IEEE on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 2006). New York: IEEE, 2006. p. 1-6.
- VISEU, T.; PALMA, J.; COSTA, C. O. – Alqueva Dam Early Warning System. Proceedings of the 5th International Conference on Dam Engineering. Singapore: CI-Premier, 2007. 8 p.
- VODAFONE – Interface - Acesso Rádio Versão 1.5. Lisboa: Vodafone, 2009.
- WEI, J.; JINGYUN, T. – Towards a Demonstrator of Flash Flood Warning System a Case Study for St. Maarten, the Netherlands. Proceedings of the 3rd International Yellow River Forum on Sustainable Water Resources Management and Delta Ecosystem Maintenance. Dongying City: Yellow River, 2007. Vol VI, p. 158-169.
- WIN – Wide Information Network (WIN) for Risk Management Project [em linha]. WIN, 2004. [Consult. 2012-06-01] Disponível em: www.kell.it/win_en.htm.
- Wikipedia – DVB-T [em linha]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2012. [Consult. 2012.06-05] Disponível em: en.wikipedia.org/wiki/DVB-T.
- ZHANG, Z. [et al.] – I am the antenna: Accurate outdoor ap location using smartphones. Proceedings of the ACM MOBICOM 2011. New York: ACM, 2011. p. 109-120.

Anexo A – Modelação por Simulação

A.1. Introdução

A modelação por simulação constituiu uma das abordagens que foi tentada para se avaliar o comportamento das redes GSM perante um envio potencialmente volumoso de mensagens, como constitui o caso de um aviso à população.

A primeira plataforma selecionada para o desenvolvimento da modelação por simulação foi a openWNS (*Open Wireless Network Simulator*), uma ferramenta especializada concebida para simular redes sem fios e redes de comunicações móveis (e.g. UMTS, WiMAX, WLAN). O desenvolvimento nesta plataforma foi abandonado quando se constatou que a implementação do modelo exigiria a especificação de todas as camadas da pilha de protocolos utilizadas nas redes GSM, o que teria um elevado custo de desenvolvimento.

A escolha seguinte recaiu na OMNeT++, uma ferramenta de simulação que apresenta um nível de abstracção mais elevado. Esta opção conduziu à implementação de um modelo para simular o comportamento de uma rede GSM numa situação de aviso à população.

Em seguida apresentam-se conceitos básicos do método de simulação, descreve-se a plataforma utilizada, detalha-se o modelo desenvolvido, especifica-se os cenários de simulação e refere-se a tentativa da sua validação.

A.2. O Método de Simulação

A simulação constitui uma ferramenta importante no planeamento, avaliação e análise de novos sistemas e na modificação de sistemas existentes. É utilizada em áreas tão diversas como a física, química, economia, telecomunicações e informática.

A simulação é uma técnica para imitar o comportamento de um sistema. Exige o estabelecimento de uma representação do sistema, o modelo, que contenha as variáveis essenciais do sistema e os processos que as alteram. No caso de simulações em computador, o modelo é representado por diversas estruturas de dados e algoritmos que os manipulam.

O interesse das simulações é, sobretudo, estudar o comportamento dos sistemas na fase de conceção inicial ou alteração de sistemas existentes, identificando potenciais problemas devido a erros de projeto (Banks, 2000). Podem igualmente ser utilizadas para comparar

diferentes alternativas de concepção, permitindo que a avaliação e as comparações possam ser executadas antes da alocação de recursos ao projeto (McLean e Leong, 2001). Podem também ser úteis para prever o comportamento de sistemas existentes em situações diferentes daquelas em que operam normalmente, evitando potenciais riscos. (e.g. avaliação de situações extremas em que o sistema possa ser danificado ou causar danos pessoais ou materiais) ou custos inportáveis (e.g. avaliação de situações que perturbam a operacionalidade de um sistema). A simulação do sistema de aviso proposto é um exemplo de uma situação deste tipo.

As simulações permitem estudar a dinâmica do sistema, descrevendo o comportamento do sistema e a forma como os subsistemas e componentes que o compõem interagem.

No entanto, as simulações, nomeadamente as simulações em computador, apresentam também alguns inconvenientes. A construção de modelos de simulação exige um conhecimento profundo do sistema que está a ser modelado, uma vez que, se o modelo não for uma representação válida do sistema, mesmo que aproximada, os resultados da simulação não trarão informação útil sobre o comportamento do sistema (Ingalls, 2008). No caso de simulações não determinísticas é essencial garantir que o modelo reproduz sem desvios sistemáticos as leis probabilísticas que regem o sistema.

As simulações podem ser classificadas segundo três propriedades: a presença do tempo, a mudança de estado e o comportamento (Sulistio et al., 2004).

A presença do tempo permite identificarr se a simulação incorpora explicitamente a variável tempo. As simulações que incluem o tempo dizem-se dinâmicas, enquanto que as que não o incluem se dizem estáticas.

A mudança de estado, uma propriedade apenas das simulações dinâmicas, analisa a forma como o estado da simulação evolui com a passagem do tempo. Numa simulação contínua, o estado da simulação muda continuamente ao longo do tempo. Em contrapartida, numa simulação discreta, o estado da simulação apenas se altera em determinados instantes.

O comportamento descreve a previsibilidade da ocorrência de acontecimentos numa simulação. A simulação é determinística quando existe uma total previsibilidade de ocorrência dos acontecimentos. A simulação é considerada estocástica, quando existe algum grau de incerteza relativamente à ocorrência de um acontecimento.

As simulações dinâmicas, discretas e estocástica são conhecida na literatura como Simulação de Eventos Discretos (*Discrete-Event Simulation* – DES). O modelo descrito neste anexo enquadra-se neste tipo de simulação.

Embora não exista um total consenso relativamente à terminologia, existem alguns conceitos frequentemente utilizados na literatura. Definem-se seguidamente os conceitos tipicamente mais utilizados.

As entidades são os objetos de interesse do modelo que podem ter uma natureza permanente ou temporária. As primeiras são criadas no início da simulação e subsistem até ao fim da mesma. As segundas são criadas no decurso da simulação e são eliminadas antes do fim da simulação. Um exemplo de uma entidade permanente, no caso de uma rede de telecomunicações móvel, é um telemóvel. Um exemplo de uma entidade temporária, no mesmo caso, é uma mensagem transmitida.

Os atributos são propriedades que caracterizam uma determinada entidade. Por exemplo, o IMEI pode ser um atributo da entidade telemóvel.

Os eventos são todas as mudanças que afetam o estado da simulação. Ocorrem frequentemente aos pares (e.g. envio de uma mensagem e receção dessa mensagem).

As atividades são conjuntos de operações que transformam o estado de uma entidade. Quando uma atividade é executada ocorre um evento (e.g. início da transmissão de uma mensagem) e é agendado o seu fim, que desencadeia outro evento (e.g. fim da transmissão da mensagem).

As variáveis de estado são elementos do modelo que contêm informações do estado de uma simulação num determinado instante temporal. As variáveis de estado refletem alguma característica do sistema. Por exemplo, o relógio é uma variável de estado que identifica o tempo da simulação.

No caso de simulações em computador, para se implementar um modelo é necessário recorrer a uma linguagem de programação, seja uma linguagem de programação genérica ou seja uma linguagem especializada (linguagem de simulação).

Como as linguagens de simulação fornecem um conjunto de funcionalidades que facilitam a construção dos modelos, são em geral as eleitas para implementar modelos, por reduzirem de forma significativa o trabalho de programação.

As linguagens de simulação podem ser classificadas de acordo com a abordagem que preconizam na modelação. Existem três abordagens utilizadas na construção de modelos: uma baseada em eventos, outra baseada em atividades e uma terceira baseada em processos (Lackner, 1962; Nance, 1995).

Na modelação baseada em eventos, são identificados os instantes da simulação em que ocorrem mudanças do estado da simulação (eventos) e descritas as ações associadas à ocorrência do evento (Carson, 2004). É uma modelação em que o avanço do relógio da simulação é baseado nos eventos.

Na modelação baseada em atividades são identificadas as atividades que afetam o estado da simulação e descritas as ações executadas quando a condição que desencadeia o evento é satisfeita (e.g. as ações correspondentes ao envio de uma mensagem na sequência da receção de um alarme) (Carson, 2004).

Na modelação baseada em processos são identificadas e descritas todas as operações que afetam as entidades durante o seu ciclo de vida (Carson, 1993). É uma modelação que utiliza um paradigma semelhante à programação orientada por objetos.

Apesar da sua natureza especializada, as plataformas de simulação constituem uma área onde existem diversas soluções, algumas *open-source* e outras de natureza comercial. O NS-2, OMNeT++, openWNS, J-SIM, SSFNet e o JiST/SWANS são exemplos de plataformas *open-source*, enquanto que o OPNET e o QualNet são exemplos de plataformas comerciais.

Na área de simulação de redes de comunicação, os três simuladores mais populares são o NS-2, o OMNeT++ e o OPNET. Esta realidade levou a que apenas se avaliassem as vantagens e desvantagens destes três simuladores.

A escolha para o desenvolvimento do modelo recaiu no OMNeT++, por possuir um conjunto de bibliotecas com funcionalidades dirigidas para a área de modelação de redes, possibilitar o desenvolvimento numa linguagem sofisticada orientada para objetos e ser de utilização gratuita para organizações de investigação sem fins lucrativos.

A.3. O Simulador Adotado

O OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) é um simulador de eventos discretos que permite adotar uma modelação baseada em eventos ou uma modelação baseada em processos (Varga e Hornig, 2008).

A principal área de utilização do OMNeT++ é a simulação de redes de comunicação, podendo no entanto ser utilizado para simular qualquer sistema para o qual seja possível desenvolver um modelo de eventos discretos. Foi originalmente desenvolvido para a simulação de tráfego, protocolos de comunicação e em redes de filas de espera, mas tem sido utilizado com sucesso na modelação de sistemas distribuídos, na validação de arquiteturas de *hardware* e na avaliação do desempenho de sistemas de *software* (Sekercioglu et al., 2003).

Algumas das características diferenciadoras do OMNeT++ são o uso da abordagem orientada para objetos que promove a conceção de modelos modulares e reutilizáveis, e a utilização de uma interface gráfica que permite aceder às funcionalidades mais sofisticadas do simulador. Por exemplo, a interface gráfica permite, durante a execução da simulação, alterar as variáveis internas do modelo, o que constitui uma característica particularmente útil durante as fases de desenvolvimento ou depuração (*debugging*) do projeto de simulação.

Um modelo OMNeT++ é constituído por uma hierarquia de módulos que vão sendo encapsulados dentro de outros módulos. A profundidade da hierarquia de módulos é ilimitada, permitindo facilmente refletir a estrutura lógica do sistema que se pretende modelar. Os modelos em OMNeT++ designam-se por redes, refletindo a área de aplicação para qual o OMNeT++ foi originalmente direcionado.

Existem dois tipos de módulos: os módulos simples e os módulos compostos. Os módulos simples estão no nível mais baixo da hierarquia. Os módulos compostos são constituídos por módulos simples ou por outros módulos compostos (Fig. 65).

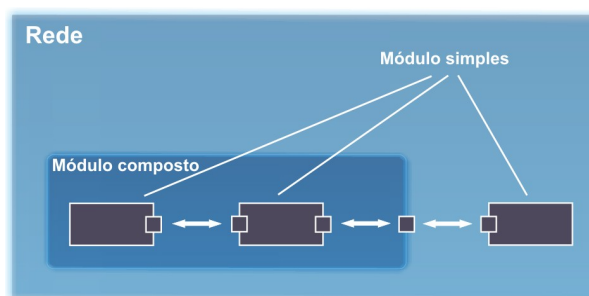


Fig. 65- Estrutura de módulos em OMNeT++ (Varga, 2011)

A comunicação entre módulos é feita através da troca de mensagens. Em geral, os módulos enviam as mensagens através de *gates*, embora possam enviá-las diretamente para o módulo destino. As mensagens podem ser enviadas para outro módulo ou para o próprio módulo (*self messages*). As *gates* constituem os pontos de entrada (*input*) e saída (*output*) dos módulos, através do qual se recebem ou enviam mensagens respectivamente (Varga, 2011). Na simulação de uma rede de comunicações, as mensagens corresponderão tipicamente a tramas, datagramas ou pacotes.

É estabelecida uma conexão (*connection*) quando se liga uma *gate* de saída a uma *gate* de entrada. As conexões são tipicamente utilizadas para modelar ligações físicas ou lógicas. Existe a possibilidade de se definirem canais (*channels*) com propriedades específicas, que podem ser utilizados como padrões na definição de conexões com essas propriedades.

Os módulos podem ter parâmetros. Os parâmetros são tipicamente utilizados para configurar o comportamento dos módulos ou para parametrizar a sua topologia (e.g. número de módulos instanciados). A parametrização pode ser feita individualmente ou através de tipos de ligações pré-definidas (Varga, 1998).

A estrutura e topologia de um modelo OMNeT++ é definida na linguagem NED (*Network Description*), que deverá conter as definições dos diversos tipos de módulos que compõem a rede. Uma descrição NED pode conter os seguintes componentes: definições de canais, definições de módulos simples, definições de módulos compostos e definições de redes.

Os objetos de simulação (mensagens, módulos) são representados por classes C++. As seguintes classes fazem parte da biblioteca de simulação do OMNeT++: módulos, *gates*, conexões, parâmetros, mensagens, classes de conteúdo (e.g. vetores, pilhas e grafos) e classes estatísticas (histogramas, cálculo de quantis).

O funcionamento global de um modelo OMNeT++ resulta do comportamento dos seus módulos simples. Este comportamento é definido por algoritmos implementados em C++, usando a biblioteca de simulação da plataforma. Devido à existência de implementações de OMNeT++ em Linux e Windows, as simulações concebidas nesta plataforma são portáteis entre os ambientes Linux e Windows.

A.4. A Metodologia de Simulação

A.4.1. Problema e Objetivos

O modelo desenvolvido no âmbito do trabalho foi concebido para descrever o comportamento de uma rede GSM numa situação de aviso à população utilizando o SMS. O seu desenvolvimento foi integralmente feito na plataforma de simulação OMNeT++, em C++, utilizando a interface de programação da aplicação desta plataforma.

Descrevem-se seguidamente as características da rede GSM consideradas relevantes para a modelação do envio do aviso à população através do SMS, as simplificações utilizadas no modelo, detalhes da implementação, resultados da simulação e a tentativa de validação dos resultados obtidos.

A.4.2. Características do GSM Relevantes para a Simulação

A.4.2.1. Uma visão geral

O aviso à população numa rede GSM inicia-se com o envio de uma mensagem do *Gateway* de SMS (ESME) para o servidor de mensagens (SMSC) do operador. Em seguida, a mensagem é entregue aos telemóveis utilizando o serviço de mensagens terminadas no telemóvel (SMS/MT). O serviço utilizado requer a execução de diversas operações de sinalização: a transferência da mensagem do servidor de SMS para a central de comutação móvel de interligação (*MessageTransfer*), a determinação da central de comutação móvel em que o telemóvel se encontra registado (*sendRoutingInfoForShortMsg*), o encaminhamento da mensagem para a central de comutação móvel (*forwardShortMsg*), o pedido de localização do telemóvel (*sendInfoforShortMsg*) e finalmente a transferência da mensagem da central de comutação móvel para o telemóvel (*MessageTransfer*) (Fig. 66).

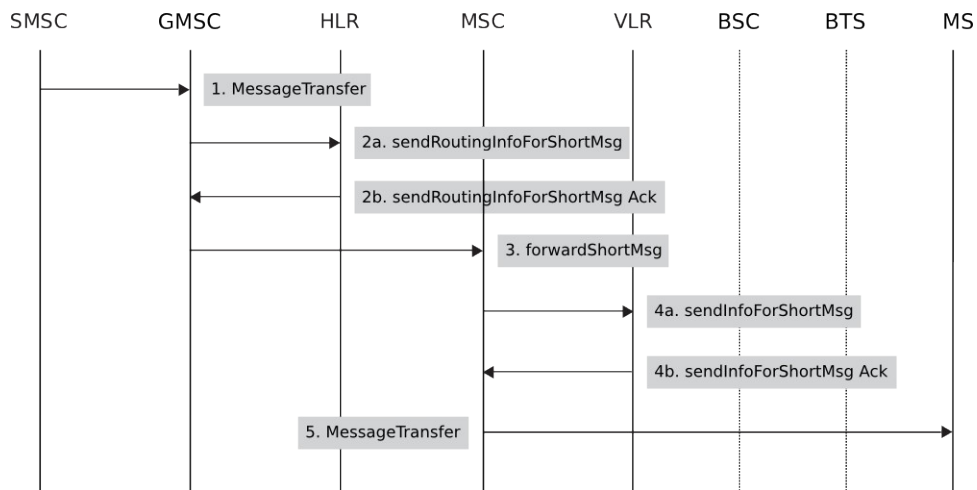


Fig. 66 - Serviço de mensagem terminadas no telemóvel (baseado em Hillebrand, 2010)

Esta visão geral do envio do aviso permite identificar os elementos de rede que é necessário modelar: *Gateway* de SMS (ESME), Servidor de SMS (SMSC), Central de Comutação Móvel de Interligação (GMSC), Registo de Assinantes Locais (HLR), Central de Comutação Móvel (MSC), Registo de Assinantes Visitantes (VLR), Controlador de Estação Base (BSC), Estação Base (BTS) e Telemóvel (MS).

Permite também determinar as ligações existentes entre os elementos de rede GSM (Fig 67).

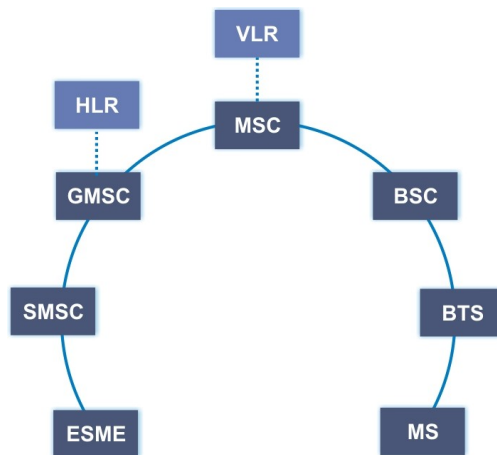


Fig. 67 - Ligações entre as entidades da rede GSM

Estas ligações encontram-se, na sua grande maioria, descritas nas especificações GSM. A ligação entre o telemóvel e a estação base, feita via rádio, é conhecida como interface U_m . Por sua vez, a interligação entre a estação base e o controlador de estação, feita através de um circuito E1, é conhecida como interface A_{bis} . A ligação entre o controlador de estação base e a central de comutação móvel, feita também através de diversos circuitos E1, é conhecida como

interface *A*. No núcleo da rede, existem diversas ligações, feitas através de circuitos de elevado débito em fibra ótica: entre a central de comutação móvel e o registo de assinantes visitantes (interface *B*), entre a central de comutação e o registo de assinantes locais (interface *C*) e entre duas centrais de comutação móveis (interface *E*) (Fig. 68).

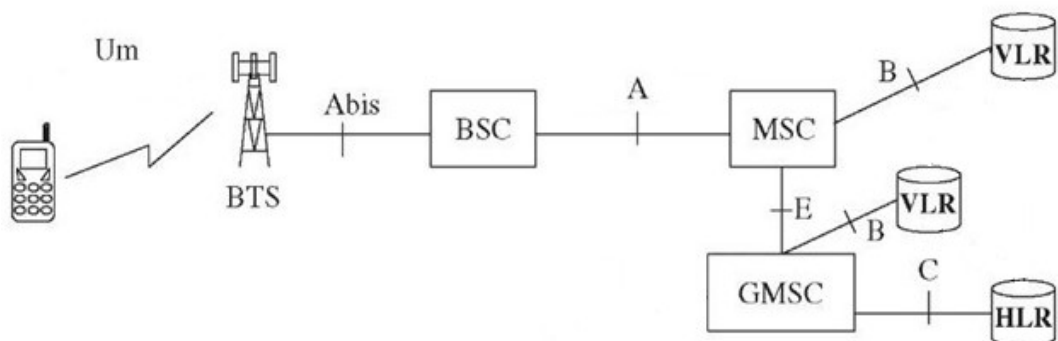


Fig. 68 - Interfaces na rede GSM

Fora das especificações GSM encontra-se a ligação entre o *Gateway* de SMS e o Servidor de SMS. É uma ligação tipicamente feita em cobre ou fibra ótica, consoante o débito de transmissão e fornecedor de acesso à Internet contratado.

A.4.2.2. Pilha de Protocolos

Em cada interface são utilizados diversos protocolos, conjuntamente designados por pilha de protocolos, que são habitualmente agregados em três camadas: camada física (*Layer 1 – L1*), camada de ligação (*Layer 2 – L2*) e camada de rede (*Layer 3 – L3*).

No caso dos canais de sinalização, por onde são transferidas as mensagens de texto, são utilizadas em cada interface as pilhas de protocolos indicadas na Figura 69.

O *burst* normal possui 114 bits de dados correspondentes a dois conjuntos de 57 bits, uma *flag* para diferenciar se os dados referem-se a um canal de sinalização ou de voz e um período de guarda de 30.5 μ s para que não exista sobreposição entre dois *bursts* sucessivos (Fig. 73).

cauda	dados	flag	treino	flag	dados	cauda	período de guarda
3 bits	57 bits	1 bit	26 bits	1 bit	57 bits	3 bits	
546.12 μ s							30.5 μ s
577 μ s							

Fig. 73 - *Burst* normal

O *burst* de acesso tem apenas 36 bits de dados e possui um período de guarda com uma duração de 251.16 μ s. O valor do período de guarda tem a particularidade de limitar o raio máximo da célula a 37.6 km, uma vez que o tempo máximo de propagação é o relativo ao percurso formado pela ligação ascendente e descendente (Fig. 74).

cauda	sincronização	dados	cauda	período de guarda
8 bits	41 bits	36 bit	3 bits	
324.72 μ s				251.16 μ s
577 μ s				

Fig. 74 - *Burst* de acesso

Na camada de ligação de dados da interface U_m , a transferência de dados é feita utilizando o protocolo LAPD_m (*Link Access Protocol on D channel (modified)*), uma variante do protocolo utilizado na RDIS (Rede Digital Integrada de Serviços) adaptada para o ambiente rádio.

A.4.3. Simplificações adotadas

Para reduzir a complexidade da implementação foram feitas simplificações ao comportamento da rede GSM:

- Camada física (L1) – As características das interfaces GSM ao nível da camada física entre os diversos elementos são em alguns casos complexas e de difícil implementação. No modelo foram apenas utilizados dois parâmetros para caracterizar estas interfaces: o débito de transmissão e a taxa de bits errados (*Bit Error Rate – BER*). Optou-se por negligenciar o atraso de propagação, dada a dimensão do atraso. Por exemplo, na transmissão por rádio, onde a velocidade de propagação é próxima da velocidade da

luz, o atraso de propagação num telemóvel que esteja a 30 km da estação base é de cerca de 200 μ s. Para além disso, no caso da ligação rádio, apenas se implementaram os canais lógicos utilizados no serviço de mensagens terminadas no telemóvel, isto é os canais PCH, RACH, AGCH e SDCCH.

- Camada de ligação de dados (L2) e camada de rede (L3) – Ao invés de implementar estas duas camadas de protocolos, o modelo apenas implementa o protocolo de mais alto nível que é necessário para comunicar com a entidade adjacente. Para além disso, restringiu-se a implementação às operações utilizadas no serviço de mensagens terminadas no telemóvel, como sejam as operações de *paging*, alocação de canais SDCCH e transferência de mensagens curtas.
- Registo de assinantes locais (HLR) – Numa rede GSM, os pedidos ao registo local de assinantes (HLR) são feitos através do MAP (*Mobile Application Part*), um protocolo do Sistema de Sinalização N° 7 (SS7). No modelo utiliza-se um protocolo interno para obter informações sobre o assinante do HLR.
- Registo de assinantes visitantes (VLR) – Na prática, contrariamente ao indicado nas especificações (interface B), existe uma ligação proprietária entre a central de comutação móvel e o registo de assinantes visitantes. De forma análoga ao feito para o HLR, utiliza-se no modelo um protocolo interno para interrogar o VLR.
- Identificador do telemóvel – Numa rede GSM, o IMSI, o identificador do telemóvel armazenado no SIM, não é utilizado na ligação rádio por razões de segurança. Para proteger a identidade do assinante é utilizado um identificador alternativo conhecido como TMSI. No modelo utilizou-se o IMSI como identificador do telemóvel.

A.4.4. Detalhes da Implementação

Para programar os módulos foi necessário criar classes derivadas da classe *cSimpleModule*, pertencente à biblioteca de classes do OMNeT++, herdando desta última as funcionalidades relacionadas com a simulação.

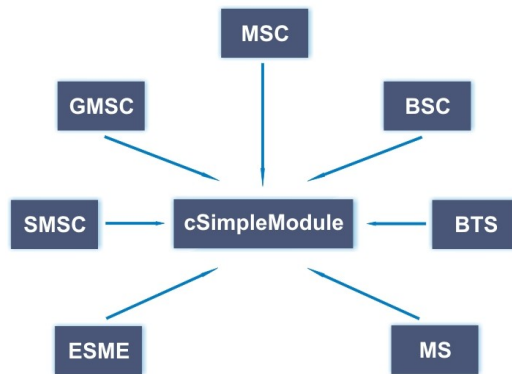


Fig. 75 - Hierarquia de classes da rede GSM

A adição de funcionalidades pôde ser feita através da redefinição de algumas funções da classe. A título de exemplo, como se adotou a abordagem da modelação baseada em eventos redefiniu-se a função *handleMessage()*. Esta função é chamada de cada vez que chega uma mensagem ao módulo, sendo responsável pelo processamento da mensagem (Fig. 76).

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <omnetpp.h>
#include "signaling_m.h"
#include "sms_m.h"

class BSC: public cSimple Module
{
    private:
    protected:
        virtual void initialize();
        virtual void handleMessage(cMessage *msg);
};

Define_Module(BSC);

void BSC::initialize()
{
}

void BSC::handleMessage(cMessage *msg)
{
    signaling *sigmsg;
    sms *smsmsg;

    if(!strcmp(msg->name(), "Data"))
        smsmsg = check_and_cast<sms *>(msg);
    else
        sigmsg = check_and_cast<signaling *>(msg);

    cGate *arrival_gate = sigmsg -> arrivalGate();
}
    
```

Fig. 76 - Código que descreve a funcionalidade da BSC (Extrato)

A.4.5. Cenários e Resultados

Para avaliar o comportamento do envio do aviso à população em redes GSM foram elaborados diversos cenários e definidos alguns indicadores que traduzissem aspetos relativos à qualidade do serviço do envio do aviso à população.

Para estudar o comportamento das redes GSM foram concebidos os seguintes cenários:

- Cenário com um telemóvel – Envio de um aviso para um único telemóvel;
- Cenário com 10 telemóveis – Envio de um aviso para 10 telemóveis servidos por uma estação base;
- Cenário com 1800 telemóveis – Envio de um aviso para 1800 telemóveis servidos por 4 estações base: 1000 servidos pela primeira, 500 servidos pela segunda, 200 servidos pela terceira e 100 servidos pela quarta.

A necessidade de ter cenários que pudessem ser experimentalmente avaliados motivou a criação dos dois primeiros cenários, enquanto que a necessidade de ter um cenário mais próximo de uma situação típica de desastre motivou a criação do terceiro cenário.

Para avaliar a qualidade do serviço do envio do aviso à população foram definidos os seguintes indicadores:

- Taxa de Entrega de Avisos – probabilidade do aviso ser entregue com sucesso aos destinatários, isto é, a relação entre o número de destinatários que recebe o aviso e o número total de destinatários;
- Tempo de Entrega do Aviso – período que medeia entre o início do envio do aviso pelo *gateway* de SMS e o fim da sua receção pelos destinatários.

Para as simulações tomaram-se as seguintes opções técnicas:

- Realizaram-se simulações para os dois primeiros cenários, de forma a possuir elementos sobre cenários que pudessem ser validados experimentalmente. Uma vez que tivessem sido validados, pretendia-se simular o terceiro cenário;
- As estações base poderiam situar-se alternativamente em zonas de baixo tráfego (combinação V de canais lógicos na interface U_m) ou elevado tráfego (combinação IV+VII de canais lógicos na interface U_m);
- Os avisos enviados continham o instante de envio do aviso no formato RFC 3339 (AAAA-MM-DDTHH:MM:SS.ssZ);

- O tráfego injetado nos canais de sinalização (SDCCH e RACH) foi o correspondente ao tráfego telefónico gerado com base numa distribuição de Poisson com duração média de chamadas de 146 s (duração média ocorrida no 4º trimestre de 2012 nas redes móveis portuguesas);
- As pausas entre envios consecutivos de avisos foram de 180 e 900 segundos para o primeiro e segundo cenário respetivamente;
- Os avisos com tempos de entrega superiores a 360 e 1800 segundos foram considerados perdidos, para o primeiro e segundo cenário respetivamente.

Resumem-se na seguidamente os resultados obtidos das simulações para o cenário com 1 telemóvel (Tab. 34) e 10 telemóveis (Tab. 35).

Tabela 34 - Indicadores relativos ao cenário com 1 telemóvel

	Tráfego Baixo	Tráfego Elevado
<i>Tentativas de Envio</i>	2000	2000
<i>Taxa de Entrega</i>	100,0%	100,0%
<i>Tempo Médio de Entrega (s)</i>	1,42	1,37
<i>Tempo Mínimo de Entrega (s)</i>	0,96	0,92
<i>Tempo Máximo de Entrega (s)</i>	3,17	3,15
<i>Desvio Padrão (s)</i>	0,37	0,35

Tabela 35 - Indicadores relativos ao cenário com 10 telemóveis

	Tráfego Baixo	Tráfego Elevado
<i>Tentativas de Envio</i>	2000	2000
<i>Taxa de Entrega</i>	99,9%	100,0%
<i>Tempo Médio de Entrega (s)</i>	5,02	2,83
<i>Tempo Mínimo de Entrega (s)</i>	2,10	1,10
<i>Tempo Máximo de Entrega (s)</i>	30,19	5,50
<i>Desvio Padrão (s)</i>	1,65	0,72

A.4.6. Validação do Modelo

A utilização de qualquer modelo exige sempre a sua prévia validação. De uma forma geral a validação de um modelo faz-se comparando os resultados por ele produzidos com resultados obtidos no mundo real. Uma vez verificada a concordância entre os resultados fornecidos pelo modelo e os verificados no sistema real que ele pretende modelar, é possível usar o modelo para estudar o comportamento do sistema em situações que não é viável reproduzir no sistema real.

A metodologia para validar o primeiro cenário assentou assim na realização de testes para medir a taxa de entrega e o tempo de entrega do aviso em situações normais de utilização da rede comparando depois os valores obtidos com os fornecidos pelo modelo.

Para determinar o tempo de entrega do aviso na receção de mensagens, isto é o intervalo temporal decorrido entre o envio de uma mensagem curta no *gateway* de SMS e a sua receção pelos telemóveis, foram desenvolvidas duas aplicações: a primeira residente no *gateway* com a capacidade de enviar de forma programada mensagens curtas para um conjunto de telemóveis (SMSSender) (Fig. 75); e uma segunda residente no telemóvel com a capacidade de registar o instante de chegada da mensagem curta (SMSMeter).

Para replicar o cenário definido no modelo utilizou-se igualmente como mensagem de teste a hora de envio da mensagem no formato RFC 3339 no Tempo Universal Coordenado.

Fig. 77 - SMSSender for Linux

No entanto, embora o Android, suporte um número substancial de funcionalidades com capacidade de manipular mensagens curtas (e.g. enviar mensagens urgentes, enviar mensagens concatenadas) não suporta a possibilidade de registar o instante de chegada de mensagens ao telemóvel com uma precisão inferior ao minuto.

Em resultado desta limitação não foi assim possível obter medidas de tempos que pudessem ser comparados aos obtidos na modelação.

A.5. Conclusões

Não tendo sido possível validar o modelo desenvolvido, foi inviabilizada a utilização da simulação na validação da proposta de sistema de aviso.

Face a esta situação procurou-se encontrar soluções metodológicas alternativas. Foram encontradas duas soluções: análise de desempenho por *hardware* e modelação analítica.

A análise de desempenho por *hardware* recorre ao uso de ferramentas especificamente concebidas para analisar o desempenho de sistemas de comunicações móveis. É uma solução de utilização simples, que tem a desvantagem de possuir custos elevados.

A modelação analítica recorre à criação de um modelo matemático para reproduzir as operações envolvidas. É uma solução de custos baixos que oferece a possibilidade de prever o comportamento do sistema.

Dadas as condicionantes financeiras existentes optou-se por escolher a via da modelação analítica que se encontra detalhada no Capítulo 6.