

ANACOM



AUTORIDADE
NACIONAL
DE COMUNICAÇÕES



Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro
Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

março de 2020

ÍNDICE

Índice	2
Siglas e Acrónimos	5
Sumário Executivo	8
1 Introdução	10
1.1 Âmbito do Estudo	10
1.1.1 <i>Preâmbulo</i>	10
1.1.1.1 Conceito LSA.....	11
1.1.1.2 LSA na Faixa 2,3 – 2,4 GHz.....	13
1.1.1.3 Serviços Incumbentes em Portugal na Faixa 2,3 – 2,4 GHz.....	15
1.1.1.4 Arquiteturas e Blocos Funcionais de Implementações LSA.....	15
1.1.1.5 Normas ETSI e 3GPP.....	17
1.1.1.6 Projetos Piloto LSA noutros Países.....	18
1.2 Interesse Estratégico do Estudo	21
1.3 Objetivos do Estudo	22
1.4 Fatores Diferenciadores do Piloto LSA Português.....	23
1.5 Parceiros Institucionais	23
1.6 Abordagem Conceptual Genérica de uma Rede LSA para o Caso Português	24
2 Rede Piloto LSA em Portugal	27
2.1 Dispositivo de Sensorização e Aviso (LSA Warner)	29
2.1.1 <i>1.ª Versão do Warner</i>	30
2.1.2 <i>2.ª Versão do Warner</i>	32
2.1.3 <i>3.ª Versão do Warner</i>	38
2.1.4 <i>Algoritmo Geral de Gestão do Warner</i>	41
2.2 Controlador e Repositório LSA.....	42
2.2.1 <i>Controlador LSA da Fairspectrum</i>	43
2.2.2 <i>Algoritmo do Sistema LSA</i>	44

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

2.3	Redes Móveis de Teste.....	49
2.3.1	Rede da NOS e Nokia.....	50
2.3.2	Rede da MEO e Huawei	53
2.4	Sistemas Incumbentes PMSE.....	54
2.4.1	Ligações de Vídeo da RTP e TVI.....	55
3	Testes Realizados.....	55
3.1	Preparação dos Testes no Campus da Universidade de Aveiro	56
3.2	Guião de Testes	62
3.2.1	Locais e Delimitação de Zonas	62
3.2.2	Planeamento de Frequências para os Testes.....	65
3.2.2.1	Configuração C1: sinal PMSE sobreposto a um sinal LTE da NOS.....	65
3.2.2.2	Configuração C2: dois sinais PMSE sobrepostos a um sinal LTE da NOS.....	66
3.2.2.3	Configuração C3: dois sinais PMSE sobrepostos a um sinal LTE da MEO	66
3.2.2.4	Configuração C4: sinal PMSE semi-sobreposto a um sinal LTE da NOS	67
3.2.3	Plano de Testes	68
3.2.3.1	Teste funcional ao controlo da rede móvel desencadeado pelo Warner	69
3.2.3.2	Testes de Desempenho ao Sistema LSA.....	70
4	RESULTADOS.....	70
4.1	Teste Funcional ao Sistema LSA	70
4.1.1	Teste 1: Funcionamento global do sistema de controlo LSA	71
4.1.1.1	Condições de teste	71
4.1.1.2	Registos espectrais e de mensagens de controlo protocolar.....	74
4.1.1.3	Síntese de Resultados	76
4.2	Testes de Desempenho ao Sistema LSA	77
4.2.1	Teste 2: Teste de Compatibilidade entre Sinais PMSE e LTE	77
4.2.1.1	Condições de teste	78
4.2.1.2	Registos espectrais.....	78
4.2.1.3	Síntese de Resultados	79
4.2.2	Teste 3: Teste de Compatibilidade entre Sinais PMSE e LTE	80

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.2.1	Condições de teste	80
4.2.2.2	Registos espectrais	80
4.2.2.3	Síntese de Resultados	81
4.2.3	Teste 4: Teste de Compatibilidade entre Sinais PMSE e LTE	82
4.2.3.1	Condições de teste	82
4.2.3.2	Registos espectrais	83
4.2.3.3	Síntese de Resultados	84
4.2.4	Teste 5: Teste de Compatibilidade entre Sinais PMSE e LTE	84
4.2.4.1	Condições de teste	85
4.2.4.2	Registos espectrais	86
4.2.4.3	Síntese de Resultados	87
4.2.5	Teste 6: Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente exterior	87
4.2.5.1	Condições de teste	87
4.2.5.2	Registos espectrais	88
4.2.5.3	Síntese de Resultados	90
4.2.6	Teste 7: Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente interior	90
4.2.6.1	Condições de teste	91
4.2.6.2	Registos espectrais	92
4.2.6.3	Síntese de Resultados	93
5	Conclusões	94
5.1	Aspetos a Melhorar numa Possível Implementação do Modelo LSA em Portugal	97
6	Parecer Final com Base nos Resultados do Teste Piloto	99

SIGLAS E ACRÓNIMOS

2T2R	Two transmit, two receive antennae
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADC	Analog to Digital Converter
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
API	Application Programming Interface
ARN	Autoridade Reguladora Nacional
ASIC	Application Specific Integrated Circuits
BBU	Baseband Unit
CBRS	Citizen Broadband Radio Sharing
CBRS SAS	Citizen Broadband Radio Sharing - Spectrum Access System
CBSD	Citizens Broadband Radio Service Device
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CI	Cell Identifier
CM	Certificate Manager
DC	Direct current
DL	Downlink
DUF	Direito de Utilização de Frequências
DVB-T	Digital Video Broadcasting — Terrestrial
ECC	Electronic Communications Committee
eNB	Estação de base LTE
eNodeB	eNB, estação de base LTE
ERM	Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency-Division Duplex
FO	Fibra Ótica
FPGA	Field-Programmable Gate Array
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTPS	Hyper Text Transfer Protocol Secure
I&D	Investigação e Desenvolvimento
ID	I&D, Investigação e Desenvolvimento
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IPSec	IP Security Protocol
IRIS	Intelligent Robotics and Systems

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

IRP	Integration Reference Point
IT	Instituto de Telecomunicações
JSON	JavaScript Object Notation
LBBPc	LTE baseband processing unit
LC	LSA Controller
LMPT	Long Term Evolution (LTE) main processing and transmission unit
LMS-T	Link Modulation Scheme – Terrestrial
LORA	Long Range - spread spectrum modulation technique
LR	LSA Repository
LSA	Licensed Shared Access
LTE	Long Term Evolution
MEO/Altice	Operador de Serviço Móvel MEO/Altice ou, abreviadamente, apenas MEO
MFCN	Mobile/Fixed Communications Networks
MNO	Mobile Network Operator
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
NOS	Operador de Serviço Móvel NOS
OAM	Operation Administration and Maintenance
OB	Outside Broadcasting
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSS	Open-Source Software
PCI	Physical Cell Identifier
PIRE	Potência Isotrópica Radiada Equivalente
PMSE	Programme Making and Special Events
PSS	Primary Synchronization Signals
QNAF	Quadro Nacional de Atribuição de Frequências
QoS (QoS)	Quality of Service (Qualidade de Serviço)
RF	Radio Frequency (Radiofrequência)
RFC	Request for Comments
RR	Regulamento de Radiocomunicações
RRS	Reconfigurable Radio Systems
RRU	Remote Radio Unit
RSPG	Grupo de Política do Espectro de Radiofrequências
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTP	Operador do serviço de radiodifusão televisiva RTP
SAP/SAB	Services Ancillary to Programme making / Services Ancillary to Broadcasting
SAS	Shared Access Signature
SDR	Software-Defined Radio
SIC	Operador do serviço de radiodifusão televisiva SIC
SIGFOX	Solução de redes sem fios para conectar objetos de baixa potência
SQL	Structured Query Language
SRDoc	system Reference document
SS	Solution Set

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

SSH	Secure Shell
TDD	Time Division Duplex
TD-LTE	Time Division (TD) LTE
TLS	Transport Layer Security
TVI	Operador do serviço de radiodifusão televisiva TVI
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
UAS	Unmanned Aircraft Systems
UE	User Equipment
UE	European Union
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UIT-R	União Internacional de Telecomunicações – Sector de Radiocomunicações
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
Vodafone	Operador de Serviço Móvel
WiFi	IEEE 802.11x
XML	Extensible Markup Language
XML-RPC	Remote Procedure Call do Protocolo XML

SUMÁRIO EXECUTIVO

- Este estudo consistiu num projeto-piloto que pretendeu **investigar** e **avaliar**, do ponto de vista prático, a **implementação do modelo Licensed Shared Access (LSA)**, na faixa de frequências 2,3 - 2,4 GHz, à luz da realidade portuguesa, tendo sido, para o efeito, criado um demonstrador tecnológico para prova de conceito.
- A ANACOM tomou a iniciativa de reunir um conjunto de parceiros que pudesse **reforçar a massa crítica** em torno de uma temática que importa abordar com o máximo **rigor técnico e científico**. Estiveram juntos neste projeto:
 - O Regulador das comunicações em Portugal: a **ANACOM**;
 - Os operadores móveis: **MEO/Altice, NOS, Vodafone Portugal**;
 - Os operadores de televisão: **RTP, SIC, TVI**;
 - Os representantes da indústria: **Huawei, Nokia e Fairspectrum**;
 - A unidade de Investigação e desenvolvimento: **Instituto de Telecomunicações**.
- Na **génese do conceito LSA**, conforme definido pelo Grupo de Política do Espectro de Radiofrequências (RSPG), está a **partilha do mesmo espectro por diferentes utilizadores, maximizando o seu uso**, e nunca privando o utilizador incumbente de a ele poder aceder, sempre que necessário. Neste estudo, consideram-se como utilizadores incumbentes os operadores de televisão, detentores de licenças radioelétricas na faixa em questão para a utilização de sistemas PMSE (*Programme Making and Special Events*), em particular, ligações de vídeo SAP/SAB (*Services Ancillary to Programme making and Services Ancillary to Broadcasting*). O cenário de partilha, aqui considerado, prevê que um operador móvel utilize este mesmo espectro para implementar redes móveis para prestar Serviços de Comunicações Eletrónicas Terrestres, mas, sempre que o utilizador incumbente dele necessite, o mesmo deverá ser libertado, garantindo-se uma utilização livre de quaisquer interferências entre os utilizadores. Assim que o operador incumbente termine, o operador móvel passa a usar novamente esse espectro para disponibilizar o seu serviço.
- Foram identificadas **peculiaridades da realidade portuguesa**, ainda não contempladas noutros projetos-piloto LSA, em curso ou já concluídos, noutros países, que têm uma realidade diferente, onde, por exemplo, as utilizações espectrais ocorrem em zonas bem delimitadas que tendem a ser conhecidas com relativa precisão. O caso português introduz, como requisito base, a necessidade de se conhecer, com exatidão, no terreno e de forma automática, a **localização** e a **janela temporal de utilização do espectro** na

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

faixa 2,3 – 2,4 GHz, atualmente atribuído aos operadores de televisão. Isto porque as licenças atribuídas aos operadores de televisão lhes permitem utilizar o espectro licenciado, **em qualquer local e a qualquer hora, em todo o território nacional**.

- Para ultrapassar o problema de delimitar as áreas e os períodos de utilização do espectro, **foi desenvolvido, de raiz, um protótipo de uma solução tecnológica inovadora** que alia as capacidades de **sensorização e geo-localização**, como elementos-chave para viabilizar este conceito de partilha do espectro (o Warner LSA).
- Este é, aliás, um dos **grandes destaques** e um dos **fatores diferenciadores** relativamente a outras experiências semelhantes, em curso ou já concluídas, que foi a **conceção e prototipagem de hardware** específico, nunca antes desenvolvido para este fim, dando-se assim um **passo pioneiro** para **alargar o leque de soluções tecnológicas disponíveis** que permitem **viabilizar o conceito LSA** de uma forma **mais abrangente e adaptada à diversidade de cenários de utilização do espectro**, na faixa considerada, nos vários países.
- Para provar o conceito LSA em Portugal foi concebida e implementada uma **rede piloto para testes** no campus da Universidade de Aveiro.
- Durante os testes, que decorreram a 28 e 29 de janeiro de 2019, foram **efetuadas, com sucesso, chamadas entre terminais móveis**, usando esta rede piloto e, além disso, verificou-se que **todos os mecanismos de controlo implementados funcionaram conforme esperado**, nomeadamente, o desligamento da rede móvel, sempre que o operador de televisão assinalou, com o auxílio do protótipo desenvolvido, a sua intenção de utilizar o espectro até então ocupado pela rede móvel, bem como o retomar do normal funcionamento da rede móvel assim que as operações televisivas cessaram.
- Do ponto de vista técnico, e cingindo-nos aos aspetos testados neste piloto, a **conclusão** que decorre deste estudo é que, de um modo geral, **a solução encontrada para a implementação do modelo LSA em Portugal é viável e exequível**, acuteladas que estejam as sugestões propostas neste relatório.
- Este **projeto** e em particular os **resultados** que dele se extraem são **muito relevantes para o futuro da gestão do espectro**, abrindo caminho para outros estudos igualmente importantes e complementares a este, não só com vista ao aprimoramento dos aspetos tecnológicos passíveis de melhoria, devidamente identificados, como também para a definição de um referencial regulatório e jurídico que permita estabelecer as bases para a introdução do modelo LSA.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ÂMBITO DO ESTUDO

1.1.1 PREÂMBULO

O espectro radioelétrico é a parte do espectro eletromagnético compreendida entre 8,3 kHz e 3000 GHz, que se encontra, de acordo com o Regulamento das Radiocomunicações (RR) da União Internacional das Telecomunicações (UIT), atribuído a cerca de 40 serviços de radiocomunicações.

Enquanto recurso natural escasso, o espectro radioelétrico é um bem de domínio público, fundamental para os serviços de radiocomunicações que, por sua vez, são objeto, ao nível nacional, de legislação específica e orientações políticas próprias. Cada serviço de radiocomunicações dispõe de um enquadramento específico, bem definido, que resulta de uma análise integrada e ponderada de diversos aspetos complementares, de cariz eminentemente *técnico, económico, político, jurídico, social e ecológico*.

De acordo com a terminologia harmonizada pela UIT, uma **atribuição** (de uma faixa de frequências) consiste num registo, na Tabela de Atribuição de Frequências, de uma determinada faixa de frequências, tendo em vista a sua utilização por um ou vários serviços de radiocomunicações. De acordo com o preconizado no Artigo 5.º do RR da UIT-R, os serviços poderão ter uma **atribuição primária** ou **secundária**. Consequentemente, o seu estatuto confere-lhes mais ou menos direitos e, assim, uma **estação** de um **serviço secundário**:

- Não pode causar interferência prejudicial a estações de um serviço primário com frequências já consignadas ou que lhe venham a ser consignadas;
- Não pode reclamar proteção de interferência prejudicial de estações de um serviço primário com frequências já consignadas ou que lhe venham a ser consignadas;
- Pode reclamar proteção de interferência prejudicial de estações do mesmo serviço (secundário) ou de outro(s) serviço(s) também com o mesmo estatuto, desde que lhe tenha sido consignada a frequência em data anterior.

O processo de atribuição de espectro radioelétrico desenvolve-se por entre um vasto e abrangente conjunto de questões e procedimentos que importa ponderar, nomeadamente, o estudo dos requisitos técnicos com vista a avaliar a compatibilidade entre serviços existentes e/ou planeados, tendo em conta os avanços tecnológicos.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

1.1.1.1 Conceito LSA

A utilização cada vez mais intensiva do espectro pelos diversos sectores da sociedade torna mais difícil, ou mesmo impossível, a identificação de faixas de frequências para uso exclusivo. Como consequência, a política de espectro e a estratégia a adotar terão tendencialmente de considerar abordagens baseadas na utilização partilhada do espectro. Tal como mencionado no parecer do Grupo de Políticas do Espectro Radioelétrico (RSPG), no documento RSPG13-538, o *Licensed Shared Access (LSA)* poderá contribuir para a criação de novas oportunidades de partilha de espectro, no âmbito da atribuição de direitos de utilização de frequências, salvaguardando-se, ao mesmo tempo, as utilizações existentes (que não podem ser alteradas).

O objetivo primordial do LSA consiste em viabilizar a atribuição de direitos de utilização de frequências numa base de partilha, permitindo, aos detentores dos direitos, a possibilidade de disponibilizarem serviços de comunicações eletrónicas com garantias de uma dada qualidade de serviço (QoS). Contudo, é necessário assegurar o cumprimento de certos requisitos de flexibilidade, de modo a que os detentores de direito de utilização de frequências (DUF) incumbentes (que já se encontrem a utilizar o espectro) e novos operadores não vejam goradas as possibilidades e expectativas de desenvolver as suas redes e/ou tecnologias.

A título de exemplo, e considerando que a operação de um dado incumbente se encontra confinada a uma determinada área geográfica, é legítimo assumir que, por imperativos de otimização de um recurso escasso, como é o espectro radioelétrico, possam existir mecanismos alternativos que viabilizem o acesso a esse mesmo espectro, por parte de operadores detentores de direitos de utilização (no âmbito do LSA), noutras zonas geográficas não conflituantes em que essa porção de espectro está subaproveitada.

O RSPG definiu o LSA¹ como *“uma abordagem regulatória destinada a facilitar a introdução de sistemas de radiocomunicações operados por um número limitado de detentores de licenças sujeitos a um regime de licenciamento individual numa faixa de frequências já atribuída a um ou mais utilizadores incumbentes. No contexto do LSA, os utilizadores adicionais podem usar o espectro (ou parte do espectro) de acordo com regras de partilha que constam nos seus direitos de utilização do espectro, sendo permitido, por esta via, a todos os utilizadores autorizados, incluindo incumbentes, oferecer uma certa qualidade de serviço”*².

¹ Conforme “RSPG Opinion on Licensed Shared Access” publicada a 12 de novembro de 2013 e disponível no documento [RSPG13-538](#).

² Na sua formulação original (em inglês): “A regulatory approach aiming to facilitate the introduction of radiocommunication systems operated by a limited number of licensees under an individual licensing regime in a frequency band already

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Âmbito do LSA:

- LSA é uma ferramenta complementar de gestão do espectro que assenta num "regime de licenciamento individual";
- LSA facilita a introdução de novos utilizadores numa faixa de frequências mantendo os serviços incumbentes na faixa;
- LSA visa garantir um certo nível de garantia, em termos de acesso ao espectro e proteção contra interferências prejudiciais, quer para o operador histórico(s), quer para os licenciados LSA, permitindo-lhes assim oferecer uma qualidade de serviço previsível;
- LSA **exclui** conceitos como "acesso oportunista ao espectro", "utilização secundária" ou "serviço secundário" em que o requerente não tem proteção do(s) utilizador(es) principal(ais);
- Licenciados LSA e incumbentes operam aplicações diferentes e estão sujeitos a restrições regulamentares distintas. Num caso ou noutro, deverão ter acesso individual exclusivo a uma porção do espectro num determinado local e tempo;
- Um dos primeiros cenários de utilização prática do LSA consistirá em proporcionar o acesso ao espectro adicional para serviços de banda larga móvel (MFCN – *Mobile/Fixed Communications Networks*).

Quadro de partilha:

A implementação do LSA baseia-se no conceito subjacente a um *quadro de partilha* que está sob a responsabilidade da Administração. O seu desenvolvimento deverá beneficiar do envolvimento de todas as partes interessadas.

O *quadro de partilha* representa, no fundo, um conjunto de regras ou condições de partilha que visam materializar a mudança (se houver) nos direitos de utilização do espectro ou licenças radioelétricas do(s) operador(es) histórico(s) e definir, com condições técnicas e operacionais correspondentes, o espectro que pode ser disponibilizado para uso alternativo, de acordo com o conceito de LSA.

assigned or expected to be assigned to one or more incumbent users. Under the LSA framework, the additional users are allowed to use the spectrum (or part of the spectrum) in accordance with sharing rules included in their rights of use of spectrum, thereby allowing all the authorized users, including incumbents, to provide a certain QoS".

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

1.1.1.2 LSA na Faixa 2,3 – 2,4 GHz

O primeiro cenário de utilização prática do LSA será o de proporcionar acesso a espectro adicional para serviços de banda larga móvel (MFCN). Neste âmbito, a CEPT desenvolveu condições harmonizadas para a utilização da faixa 2300-2400 MHz para MFCN, de acordo com a Decisão ECC (14)02, “*Harmonised technical and regulatory conditions for the use of the band 2300-2400 MHz for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN)*”, aprovada a 27 de junho de 2014, cuja canalização harmonizada se encontra representada na Figura 1.

TDD (MHz)																			
2300 MHz	2305 MHz	2310 MHz	2315 MHz	2320 MHz	2325 MHz	2330 MHz	2335 MHz	2340 MHz	2345 MHz	2350 MHz	2355 MHz	2360 MHz	2365 MHz	2370 MHz	2375 MHz	2380 MHz	2385 MHz	2390 MHz	2395 MHz
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Figura 1 – Canalização harmonizada para a faixa 2300 – 2400 MHz

Esta canalização baseia-se em 20 blocos de 5 MHz, estando em aberto a possibilidade do operador agregar múltiplos blocos de 5 MHz, de modo a obter um novo canal com maior largura de banda. **A técnica de acesso a utilizar nesta faixa será do tipo Time Division Duplex (TDD).**

O ECC Report 205, “*Licensed Shared Access (LSA)*”, aprovado em fevereiro de 2014, detalha a forma como o LSA pode ser implementado, no caso da aplicação de banda larga móvel/MFCN, em particular na faixa dos 2,3-2,4 GHz, e discorre sobre as implicações dos requisitos a serem incluídos numa medida de harmonização CEPT. A este respeito, destacam-se as seguintes particularidades subjacentes ao conceito de LSA:

- As administrações nacionais decidem que aplicações existentes devem ser consideradas como utilizações incumbentes, dentro do *quadro de partilha*, e mantidas a longo prazo. Tal decisão deve ser tomada em consonância com os objetivos da política nacional, tendo em conta as obrigações internacionais e a legislação comunitária no caso dos Estados-Membros da UE;
- Os utilizadores LSA licenciados necessitam de certas garantias relativamente ao acesso ao espectro, para que encontrem incentivos e segurança para os seus investimentos em

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

redes e equipamentos. O nível adequado dessas garantias deve ser determinado numa base nacional, tendo em consideração os requisitos dos utilizadores e os condicionalismos de partilha;

- Torna-se, por isso, necessário conduzir, ao nível nacional, um processo de revisão e negociação, com vista a estabelecer um *quadro de partilha* eficaz que pode variar significativamente de país para país. Tal esforço exige o envolvimento de todas as partes interessadas e deve ter em atenção não só as necessidades de espectro do(s) incumbente(s) mas também a procura de utilizações alternativas.

A Figura 2 pretende ilustrar o conceito de *quadro de partilha*, conforme definido no contexto de LSA.

Neste exemplo, a disponibilidade do espectro baseia-se na separação/diferenciação geográfica. Na área representada a azul, o *quadro de partilha* identifica a disponibilidade de espectro para os utilizadores LSA. Deve notar-se que, no contexto do LSA, a partilha pode ser efetuada em três dimensões: no **tempo**, na **frequência** e no **espaço** (área geográfica). O *quadro de partilha* pode também contemplar necessidades futuras de um incumbente, conforme ilustrado pelas estações representadas a azul claro.

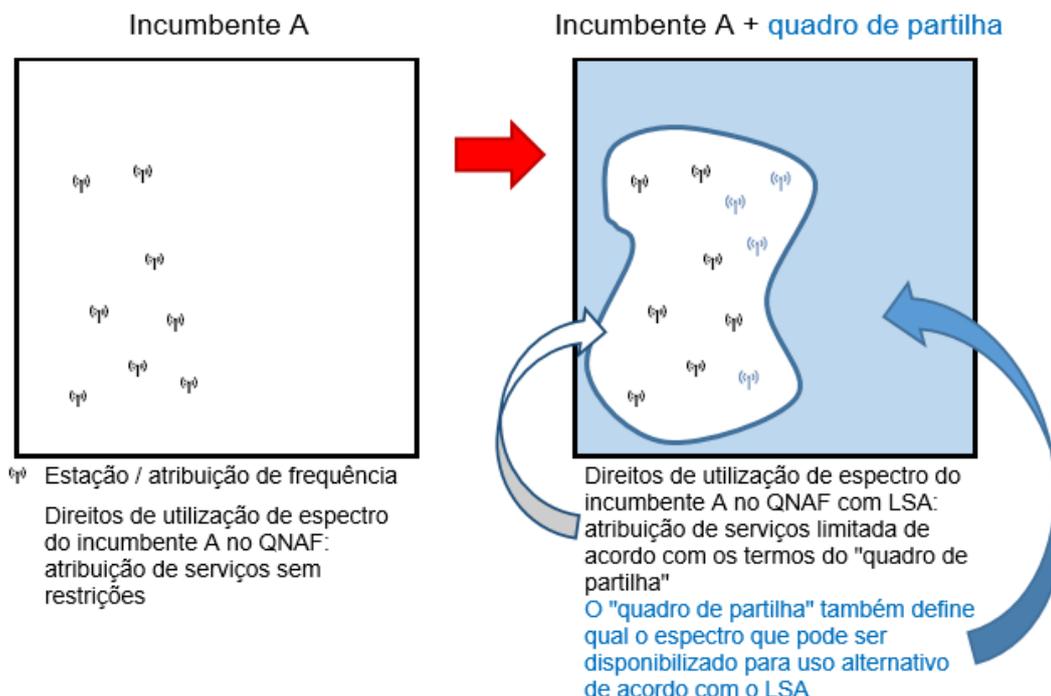


Figura 2 – Quadro de Partilha

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Em rigor, o *quadro de partilha* sistematiza as **condições de acesso ao espectro LSA** permitindo a **proteção dos serviços dos operadores históricos (incumbentes)**. A este respeito, de notar que, na Decisão ECC (14)02, é referido que, nos países da CEPT, a faixa 2300 – 2400 MHz é atualmente utilizada (podendo variar de país para país) pelos seguintes serviços/sistemas:

- Telemetria (quer terrestre, quer aeronáutica);
- Utilização governamental (por exemplo, UAS (*Unmanned Aircraft Systems*));
- Aplicações PMSE (*Programme Making and Special Events*) – ligações vídeo SAP/SAB;
- Amador, como um serviço secundário.

Assim, os requisitos a definir para o acesso ao espectro, através do LSA, terão necessariamente de ser adaptados à realidade de cada país, tendo em conta as utilizações incumbentes.

1.1.1.3 *Serviços Incumbentes em Portugal na Faixa 2,3 – 2,4 GHz*

No caso específico de Portugal, os serviços incumbentes, na faixa 2,3 – 2,4 GHz, consistem em aplicações *Services Ancillary to Programme Making / Services Ancillary to Broadcasting* (SAP/SAB). Neste âmbito, estão atualmente atribuídas 3 licenças radioelétricas nas faixas **2300-2330 MHz**, **2330-2360 MHz** e **2360-2390 MHz**, aos operadores **RTP – Rádio e Televisão de Portugal**, **TVI – Televisão Independente** e **SIC – Sociedade Independente de Comunicações**, respetivamente, que conferem o direito de utilização do espectro que lhes está consignado, a qualquer hora e em qualquer local, dentro do território nacional, sem que tenham de prestar qualquer tipo de informação à ANACOM, conforme previsto nas respetivas licenças.

1.1.1.4 *Arquiteturas e Blocos Funcionais de Implementações LSA*

Numa implementação LSA, assumem particular relevância os seguintes blocos funcionais:

- **Repositório LSA:** destina-se a fornecer informação sobre a disponibilidade de espectro e as respetivas condições associadas, podendo esta informação estar sujeita a alterações ao longo do tempo. O repositório LSA pode ser gerido pela Administração, pelo incumbente, ou ser delegado em terceiros;
- **Controlador LSA:** efetua a gestão do acesso ao espectro disponibilizado ao licenciado LSA, com base em regras de partilha e informações, sobre as utilizações do operador

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

histórico, disponibilizadas pelo repositório LSA. Além disso, o controlador LSA acede a informações sobre o espectro, a partir do repositório LSA, através de ligações e comunicações seguras e confiáveis. O controlador LSA pode interagir com um ou vários repositórios LSA, assim como, com uma ou várias redes LSA licenciadas.

Na Figura 3, apresenta-se, genericamente, uma possível implementação de LSA com o repositório e controlador LSA, e respetivas interligações, conforme acima descrito.

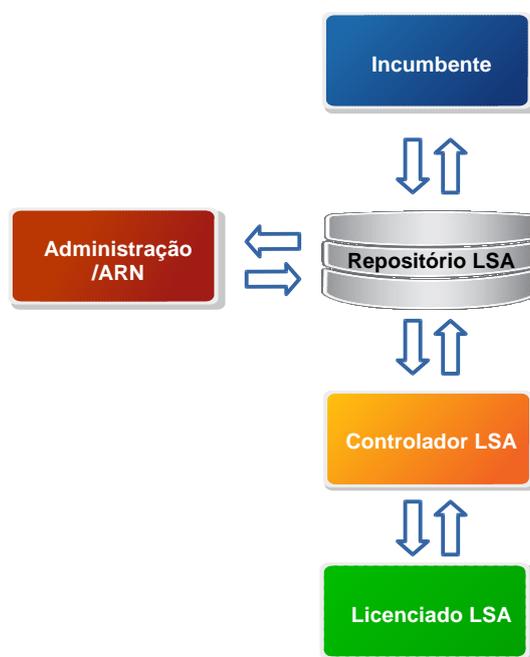


Figura 3 – Blocos funcionais LSA.

O repositório LSA contém, fundamentalmente, todas as informações relevantes sobre o espectro LSA que deve ser protegido, assim como o nível de proteção que deve ser proporcionado ao(s) operador(es) histórico(s).

As questões de coordenação transfronteiriça, ainda que não equacionadas no presente estudo, terão de ser tidas em devida consideração numa implementação real do conceito LSA. A este respeito, de notar que a CEPT desenvolveu a Recomendação ECC (14)04, aprovada a 30 de maio de 2014, “*Cross-border coordination for mobile/fixed communications networks (MFCN) and between MFCN and other systems in the frequency band 2300-2400 MHz*”.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

1.1.1.5 Normas ETSI e 3GPP

O ECC Report 205, aprovado em fevereiro de 2014, identifica, na perspetiva da CEPT, quais as interfaces que vão necessitar de normalização, nomeadamente:

- Interface entre o **repositório LSA** e o **controlador LSA**;
- Interface entre a **Autoridade Reguladora Nacional (ARN)** e o **repositório LSA**;
- Interface entre o **incumbente** e o **repositório LSA** (o incumbente deve fornecer as informações sobre o espectro – frequências, locais e ocasiões – que deve ser protegido, conjuntamente com o nível de proteção requerido);
- Interface entre o **controlador LSA** e o **licenciado LSA**;
- Interface entre **repositórios LSA diferentes**.

Alguns dos documentos (TS – *Technical Specification* e TR – *Technical Report*) publicados pelo ETSI sobre LSA são os seguintes:

- ETSI TR 103 113 V1.1.1 (2013-07): *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); system Reference document (SRDoc); Mobile broadband services in the 2 300 MHz – 2 400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime*;
- ETSI TS 103 154 V1.1.1 (2014-10): *Reconfigurable Radio Systems (RRS); System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band under Licensed Shared Access (LSA)*;
- ETSI TS 103 235 V1.1.1 (2015-10): *Reconfigurable Radio Systems (RRS); System architecture and high level procedures for operation of Licensed Shared Access (LSA) in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band*;
- ETSI TS 103 379 V1.1.1 (2017-01): *Reconfigurable Radio Systems (RRS); Information elements and protocols for the interface between LSA Controller (LC) and LSA Repository (LR) for operation of Licensed Shared Access (LSA) in the 2 300 MHz - 2 400 MHz band*.

O 3GPP finalizou o documento 3GPP TR 32.855, *System Reference Document on “Study on OAM support for Licensed Shared Access”*.

Alguns dos documentos publicados pelo ETSI, com equivalência 3GPP e relacionados com o LSA, são os seguintes:

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- ETSI TS 128 301 V15.0.0 (2018-07): *LTE; Telecommunication management; Licensed Shared Access (LSA) Controller (LC) Integration Reference Point (IRP); Requirements (3GPP TS 28.301 version 15.0.0 Release 15);*
- ETSI TS 128 302 V14.0.0 (2017-07): *LTE; Telecommunication management; Licensed Shared Access (LSA) Controller (LC) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS) (3GPP TS 28.302 version 14.0.0 Release 14);*
- ETSI TS 128 303 V15.0.0 (2018-07): *LTE; Telecommunication management; Licensed Shared Access (LSA) Controller (LC) Integration Reference Point (IRP); Solution Set (SS) definitions (3GPP TS 28.303 version 15.0.0 Release 15).*

1.1.1.6 *Projetos Piloto LSA noutros Países*

Foram efetuados testes pilotos LSA em Itália³, França⁴, Finlândia⁵ e Países Baixos⁶, que visaram avaliar a viabilidade de implementação do LSA, num cenário real, no contexto e em face das singularidades de cada um desses países. Os Países Baixos acabaram por implementar a solução LSA tendo por base as especificações do ETSI.

Da implementação italiana, cujo piloto decorreu em 2016, destaca-se como particularidade o facto do controlador LSA estar alojado na Finlândia e o repositório LSA em França. Estas infraestruturas LSA, de acesso remoto, complementam a rede de acesso concebida para testes, que é constituída por estações de base LTE TDD, a operar nos 2,3 – 2,4 GHz, instaladas no edifício sede do organismo de gestão do espectro.

De salientar que este projeto piloto teve como preocupação central a proteção do Serviço Fixo Ponto-a-Ponto, através da implementação de áreas de exclusão ou de restrição, e também a proteção de PMSE e Telemetria, através da introdução de áreas de proteção, conforme conceptualmente se ilustram na Figura 4 e Figura 5, respetivamente.

Esta implementação LSA segue o conceito apresentado anteriormente neste documento.

³ <https://www.mise.gov.it/index.php/en/news/2033594-licensed-shared-access-lsa-pilot>.

⁴ <https://www.anfr.fr/en/publications/dossiers-thematiques/le-partage-sous-licence-lsa/>

⁵ <https://pt.slideshare.net/mpalo/2-22020-finnish20lsa20trials>

⁶ <https://www.etsi.org/newsroom/news/1625-2019-07-etsi-specifications-on-licensed-shared-spectrum-successfully-implemented-in-the-netherlands-for-the-entertainment-industry>

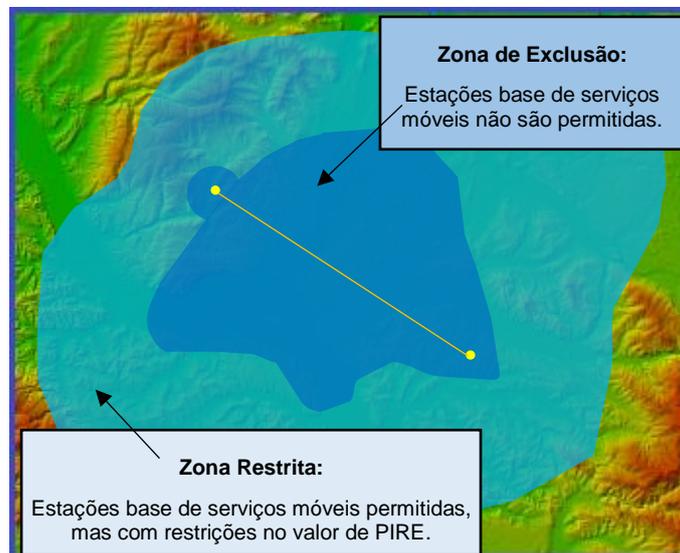


Figura 4 – Proteção do serviço fixo.

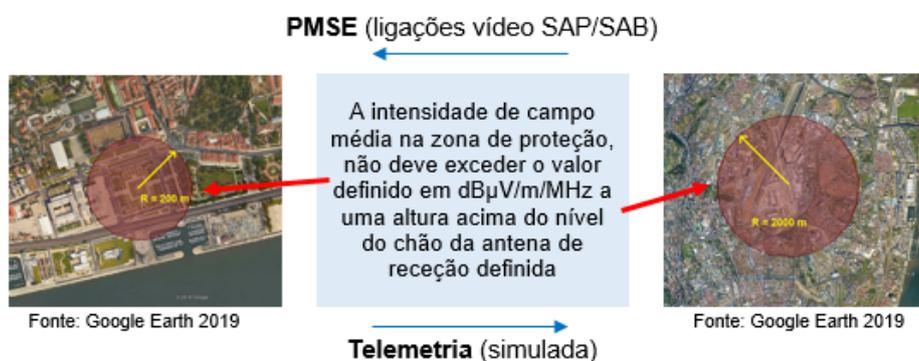


Figura 5 – Proteção de PMSE e Telemetria.

A introdução de mecanismos de proteção visa garantir que, em determinadas áreas específicas, o sistema móvel LTE LSA se desliga ou passa a emitir com uma potência que não interfira os incumbentes quando estes estão a operar nessas áreas em particular.

No caso concreto de Portugal, dado que os incumbentes, na faixa 2,3 – 2,4 GHz, dispõem, ao abrigo das respetivas licenças radioelétrica, de prerrogativas para utilizar o espectro, a qualquer hora e em qualquer local do território nacional, sem necessidade de informar o regulador, levantam-se desafios tecnológicos adicionais, ao nível da identificação e deteção (no espaço e no tempo) de utilizações de espectro, por parte dos incumbentes. Tal peculiaridade, por si só, obriga desde logo a considerar, no nosso piloto LSA, requisitos específicos que não se

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

encontram previstos, nem contemplados, no projeto LSA italiano, uma vez que, aí é previamente conhecida a localização do PMSE.

Além disso, as particularidades, encontradas em cada um dos países, variam ao longo do espaço europeu. A este respeito e conforme já referido no presente documento, a Decisão ECC (14)02 identifica, nos vários países da Europa, as utilizações de espectro concentradas na faixa 2,3 – 2,4 GHz, que abrangem os seguintes serviços: telemetria (quer terrestre, quer aeronáutica), sistemas de utilização governamental (ex.: UAS – *Unmanned Aircraft Systems*), PMSE e Serviço de Amador como serviço secundário.

Por outro lado, a Recomendação ECC (15)04, aprovada a 3 de julho de 2015, “*Guidance for the implementation of a sharing framework between MFCN and PMSE within 2300-2400 MHz*”, faz notar, atentas as características das licenças PMSE em Portugal, que estas não servem, na totalidade, para proteger os serviços PMSE incumbentes a operar no nosso país.

Numa perspetiva complementar, o **projeto finlandês** investiga técnicas alternativas, com recurso a dispositivos de comunicações móveis (tipicamente, *smartphones*), para que um utilizador PMSE possa indicar a sua posição, de modo a poder utilizar o espectro sem sofrer interferências de um licenciado LSA, conforme ilustrado sumariamente na Figura 6.

Equipamento específico LSA: Gestor LSA do Incumbente

- Ferramenta para ajudar o operador do serviço PMSE a reservar frequências, introduzindo pedidos de evacuação de forma simples e segura.
- Usando a aplicação *web*, o utilizador incumbente fornece a localização, tipo de ligação, a gama de frequências de transmissão e o período de utilização.
- Usando a aplicação móvel, o incumbente faz um pedido de evacuação tendo por base a sua posição atual.
- O processo de proteção pode incluir algoritmos para mascarar a utilização real do utilizador incumbente.

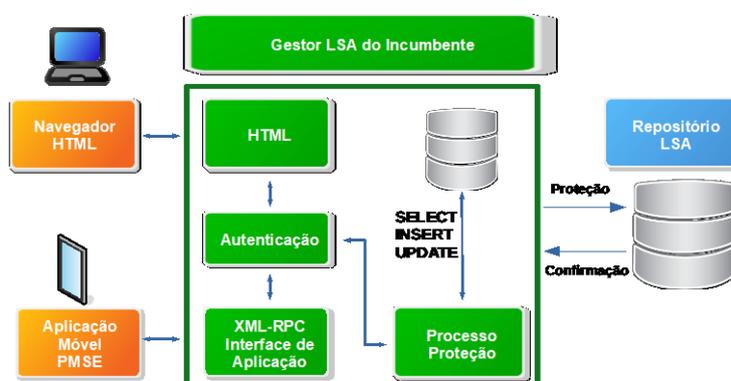


Figura 6 – Proteção de PMSE (projeto finlandês).

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

A par do que se verifica na Europa, relativamente à introdução de formas alternativas de partilha de espectro (baseadas no conceito de LSA), também os Estados Unidos da América acompanham a mesma tendência, com a introdução de um modelo semelhante, denominado “*Citizen Broadband Radio Sharing*” (CBRS)⁷, impulsionado pelo regulador, a FCC. O conceito, desenvolvido para a faixa de frequências 3550-3700 MHz, assenta na autorização do espectro dividido em três níveis de hierarquia:

1. Acesso aos incumbentes;
2. Acesso prioritário;
3. Acesso geral (isento de licença).

1.2 INTERESSE ESTRATÉGICO DO ESTUDO

O interesse estratégico deste estudo assenta essencialmente no seguinte:

- Vários países já avançaram com pilotos LSA, de modo a adquirirem, com antecedência a devida, experiência e massa crítica, fundamentais para a introdução de um novo paradigma de partilha e gestão do espectro, ainda não introduzido no mercado;
- Existe a necessidade de definir condições específicas e/ou restrições aplicáveis e adequadas à realidade de Portugal;
- Existem aspetos tecnológicos, subjacentes à implementação do conceito de LSA em Portugal que, tanto quanto se conhece, não estão contemplados em nenhum dos projetos piloto em curso na Europa, e que carecem de ser devidamente investigados e desenvolvidos de raiz;
- Sem a experiência prática proporcionada por este piloto, correr-se-ia o risco de, no futuro, se vir a adotar uma abordagem LSA baseada – ou em soluções, ou num conjunto de premissas e restrições genéricas – que poderia não ser favorável, nem estar adaptada, ao ambiente regulatório nacional;
- Por fim, e ao abrigo dos seus Estatutos, publicados no Decreto-Lei n.º 39/2015, de 16 de março, a ANACOM tem como atribuições “*assegurar a realização de estudos na área*

⁷ <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/35-ghz-band/35-ghz-band-overview>

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

das comunicações” e “colaborar com outras entidades públicas e privadas na promoção da investigação científica aplicada às comunicações”, pelo que, o estudo proposto neste documento encontra nestes princípios um enquadramento devidamente aclimatado.

1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

Os objetivos principais deste estudo consistem em explorar e adquirir, a partir de uma sólida base experimental, conhecimento acerca das tecnologias e das inter-relações entre os diversos intervenientes nos processos associados à implementação do modelo LSA de partilha de espectro, onde se incluem os mecanismos de controlo e gestão das utilizações de espectro perspectivadas, com aplicação prática à realidade portuguesa.

No âmbito dos trabalhos de I&D e de implementação de um projeto piloto LSA em Portugal são contempladas as seguintes linhas de ação:

- Identificação de **operadores** incumbentes, com licenças de utilização do espectro na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz;
- Identificação de **aplicações, sistemas e equipamentos** passíveis de serem utilizados na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz;
- Conceção de um **ambiente de testes (test-bed)** capaz de reproduzir, num cenário real, as condições de utilização do espectro, na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz, subjacentes à realidade regulatória nacional:
 - Desenvolvimento de uma **solução de hardware inovadora** que possibilite, de forma automática, a geolocalização e a deteção dos sistemas licenciados incumbentes que pretendam utilizar o espectro radioelétrico (conforme previsto nos seus títulos habilitantes), e que comunique a sua intenção, sem a ação humana, ao controlador de LSA, que gere as redes dos operadores móveis que partilham a mesma faixa de frequências e a mesma área de utilização. Esta solução visa permitir a operação de sistemas incumbentes sem que ocorram interferências;
 - Desenvolvimento e interligação de uma solução de **base de dados**, que permita, entre outros aspetos, que o controlador LSA tenha conhecimento do(s) setor(es) ou células a desligar, ou a sobre eles atuar, de modo a diminuir a potência de emissão, tendo em conta a utilização de ligações vídeo SAP/SAB na sua área de cobertura;

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- Realização de **testes** em ambiente de simulação de condições reais, nomeadamente, a utilização de ligações vídeo SAP/SAB sem que ocorram interferências (ou com níveis aceitáveis de interferência), na área de cobertura de uma rede móvel a operar nos 2,3 – 2,4 GHz.

1.4 FATORES DIFERENCIADORES DO PILOTO LSA PORTUGUÊS

Constituem fatores diferenciadores, relativamente a outros projetos em curso na UE, designadamente, a introdução das seguintes funcionalidades:

- Interação automática entre o sistema PMSE incumbente (que, neste contexto, também poderá ser designado como “*vítima*”) e a base de dados LSA, através de um **dispositivo (hardware)** cujo funcionamento é transparente para os utilizadores;
- Introdução de mecanismos redundantes de proteção do incumbente através de técnicas de **sensorização automática**;
- **Otimização**, através de *hardware* dedicado, desenvolvido no âmbito deste estudo, das **áreas de exclusão** e dos **tempos de utilização/partilha** de espectro;
- Desenvolvimento de **solução tecnológica minimamente intrusiva**, adaptada à realidade nacional, tendo em vista a minimização do impacto de uma eventual entrada em funcionamento do modelo LSA de partilha de espectro, em Portugal;
- Aumento da resiliência das soluções já exploradas por outros países, e que são apenas suportadas por bases de dados.
- Validação da solução tecnológica desenvolvida em Portugal, em **cenários reais** passíveis de demonstração internacional.

1.5 PARCEIROS INSTITUCIONAIS

Atendendo aos objetivos traçados, a ANACOM, identificou um conjunto de parceiros estratégicos que integraram o consórcio que planeou, desenvolveu, implementou e acompanhou o presente estudo. São eles:

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- A **Autoridade Reguladora Nacional, a ANACOM;**
- Os **utilizadores de espectro incumbentes** (no caso em apreço, os operadores de radiodifusão televisiva) que detêm licenças para a faixa dos 2,3 – 2,4 GHz, a **RTP**, a **SIC** e a **TVI;**
- Os **operadores de comunicações móveis** a operar no mercado nacional, a **MEO**, a **NOS** e a **Vodafone;**
- Os **fabricantes de equipamentos** selecionados no âmbito de lançamento de *convite aberto* divulgado publicamente no sítio da ANACOM, a **Fairspectrum**, a **Huawei** e a **Nokia.**
- A **academia e o laboratório associado**, enquanto unidade de investigação e desenvolvimento (I&D), o **Instituto de Telecomunicações.**

Deste modo, o envolvimento de parceiros provenientes da indústria (fabricantes) e provedores de serviços de comunicações (operadores) permitiu explorar sinergias e testar, em cenários reais, a integração e interoperabilidade de tecnologias, soluções e dispositivos/equipamentos de vários fabricantes. Além disso, os resultados apresentados neste estudo poderão, e deverão – assim se espera – contribuir para a capacitação da indústria portuguesa, com conhecimento e espírito crítico capazes de alavancar soluções inovadoras de partilha de espectro, ao mesmo tempo que se proporciona a oportunidade de acompanhar de perto o estado da arte que, ao nível internacional, se atinge nestes domínios.

1.6 ABORDAGEM CONCEPTUAL GENÉRICA DE UMA REDE LSA PARA O CASO PORTUGUÊS

As singularidades inerentes à realidade portuguesa, no que concerne à utilização do espectro na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz, constituem fatores de relevo a ter em conta no desenho e conceção de um cenário de testes específico e adequado. De modo a contemplar todas essas peculiaridades, foi desenvolvido o modelo conceptual de referência, apresentado na Figura 7, que pudesse ser o mais abrangente e genérico possível, para o estudo do modelo LSA, servindo de base à abordagem tecnológica a implementar, na prática, em Portugal.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

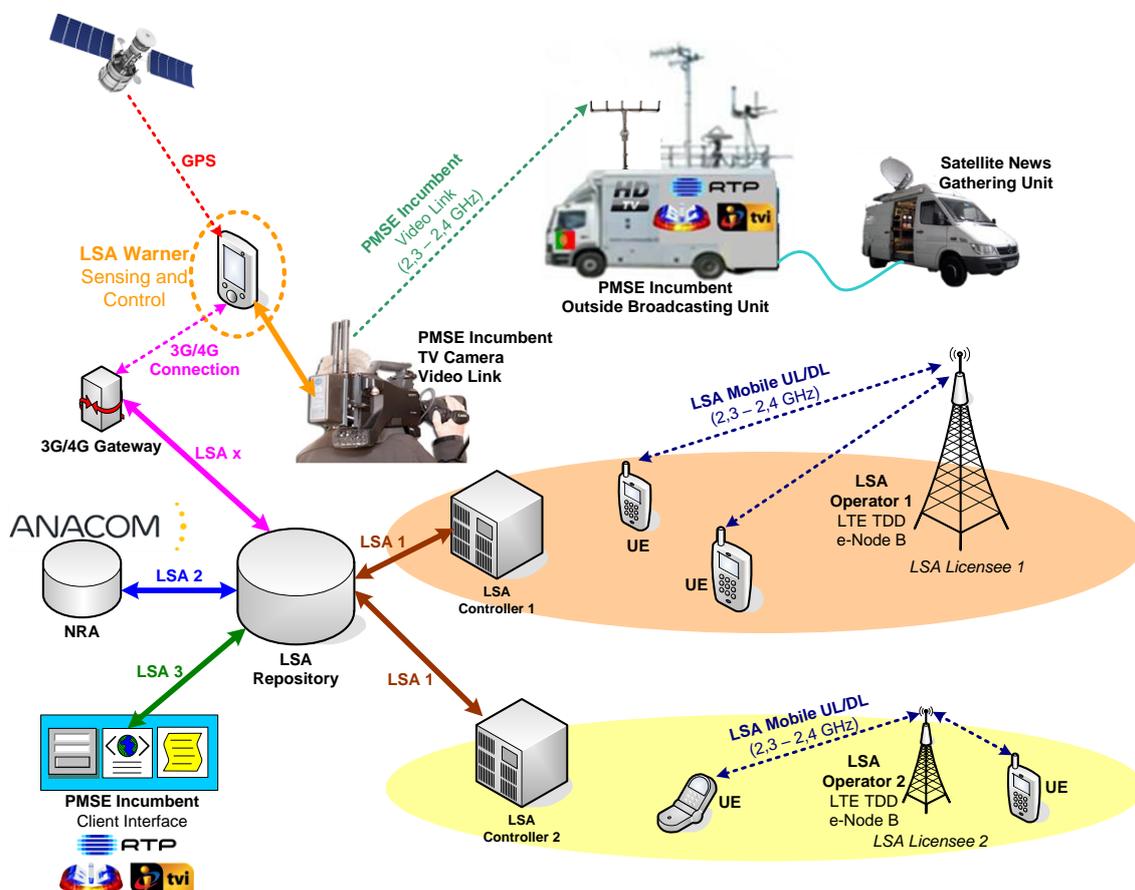


Figura 7 – Diagrama de blocos da arquitetura de rede do modelo conceptual de referência desenvolvido para Portugal.

De salientar que, num cenário de comunicações como o ilustrado, uma forte limitação a ter em conta é, precisamente, o nível de interferência que um utilizador LSA pode sobrepor ao sinal útil do operador PMSE incumbente. Assim, a interferência deverá estar reduzida tanto quanto possível, de tal forma que o utilizador PMSE consiga estabelecer as comunicações, para as quais está autorizado, com uma relação sinal-ruído adequada.

Nesse sentido e assumindo o controlo das comunicações de um operador móvel LSA, pretende-se, neste projeto, desenvolver uma solução tecnológica passível de reduzir/mitigar, ou até eliminar, todas as interferências perniciosas provenientes de qualquer estação de radiocomunicações do utilizador LSA, a emitir na faixa de frequências atribuída ao utilizador PMSE incumbente.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Com esse intuito, propõe-se, no âmbito da componente de I&D deste projeto, a adoção de técnicas de georreferenciação nos dispositivos do utilizador PMSE que, numa base periódica, atualizarão a base de dados centralizada (*LSA Repository*) com informação acerca da posição do PMSE, de modo a que, sempre que o primário esteja a utilizar o espectro, os operadores móveis LSA, num raio pré-determinado, deixarão de transmitir.

Nesta vertente, foram desenvolvidos e produzidos, de raiz, protótipos – como prova de conceito – de dispositivos de georreferenciação e monitorização espectral (de acordo com a terminologia da figura anterior, estes dispositivos são designados por *LSA Warners*), assim como de uma infraestrutura de bases de dados a utilizar centralmente, a integrar, com garantias de interoperabilidade, na rede do operador LSA.

Como tal, utilizou-se uma combinação de soluções existentes para “*white spaces*”, com as devidas adaptações, que inclui *spectrum sensing* (monitorização de espectro), e georreferenciação espectral.

Em termos práticos, propõe-se que cada um dos utilizadores PMSE incumbentes associem aos seus emissores (*video links*) um subsistema (*LSA Warner*) que permita, automática e autonomamente, ao dispositivo PMSE que pretende utilizar o espectro que lhe está atribuído, georreferenciar-se e monitorizar o espectro de interesse. Essa informação será enviada para o *LSA Repository*, através de um canal de comunicação de baixo débito, podendo considerar-se, para o efeito, a utilização das próximas redes de *Narrowband IoT*, ou a reutilização de soluções já existentes no mercado, como sejam o GPRS, UMTS ou LTE.

O *LSA Repository* armazenará todas as coordenadas reportadas pelo *LSA Warner* e ainda os níveis de potência de potenciais utilizadores LSA nessas localizações.

Finalmente, sempre que um operador LSA pretender utilizar o espectro partilhado com o PMSE incumbente terá de o solicitar ao *LSA Repository*, através de um *LSA Controller*, que irá conceder, ou não, permissões de acesso ao espectro desejado.

Sempre que o *LSA Warner* detete que o espectro, numa área de interesse para o PMSE incumbente, esteja a ser utilizado, poderá informar o *LSA Repository* desse facto e, aí, o *LSA Repository* informará o *LSA Controller* para remover esse canal (e/ou adjacentes) da lista dos canais disponíveis.

2 REDE PILOTO LSA EM PORTUGAL

Partindo do modelo conceptual anteriormente descrito, foi implementada uma rede piloto de testes, no Campus da Universidade de Aveiro, recorrendo a infraestruturas e equipamentos disponibilizados pelos parceiros deste projeto. Assim, foi utilizada uma torre de suporte de uma BTS da MEO, situada junto à reitoria da UA, onde foi instalado um eNode-B LTE TDD da Huawei que, não tendo sido possível interligar à rede *core* do operador, foi usado para teste de interferência para um PMSE (vítima). Foi ainda utilizado um eNode-B LTE TDD da Nokia, instalado numa estrutura móvel, com liberdade de movimentação, ainda que limitada, dentro do campus, interligado à rede *core* de testes da NOS que, num ambiente esterilizado e controlado, permitiu implementar as necessárias condições de segurança da rede para, remotamente, se estabelecer comunicação com o controlador LSA, da Fairspectrum, e assim concretizar, na prática, uma rede de operador móvel LTE TDD, segundo o modelo de partilha de espectro LSA. Nos testes, foram usados terminais comuns, do tipo *smartphone*, para a faixa de frequências em estudo, com cartões SIM do respetivo operador.

Os operadores de televisão RTP e TVI contribuíram com sistemas de vídeo, via rádio, a funcionar na faixa 2,3 – 2,4 GHz, com as unidades de emissão instaladas em câmaras de vídeo a transmitirem sinais digitais de vídeo (DVB-T e LMS-T) para as unidades de receção.

Foi também associado aos emissores de vídeo o protótipo do “LSA Warner” desenvolvido pelo IT, que integra o módulo de geolocalização por GPS, o módulo de deteção e processamento de sinais e o módulo de comunicações para se interligar ao controlador LSA.

A Fairspectrum disponibilizou o controlador LSA, numa solução remota em *cloud*, que permitiu gerir todas as operações e o controlo da rede.

A Figura 8 ilustra a rede de testes descrita.

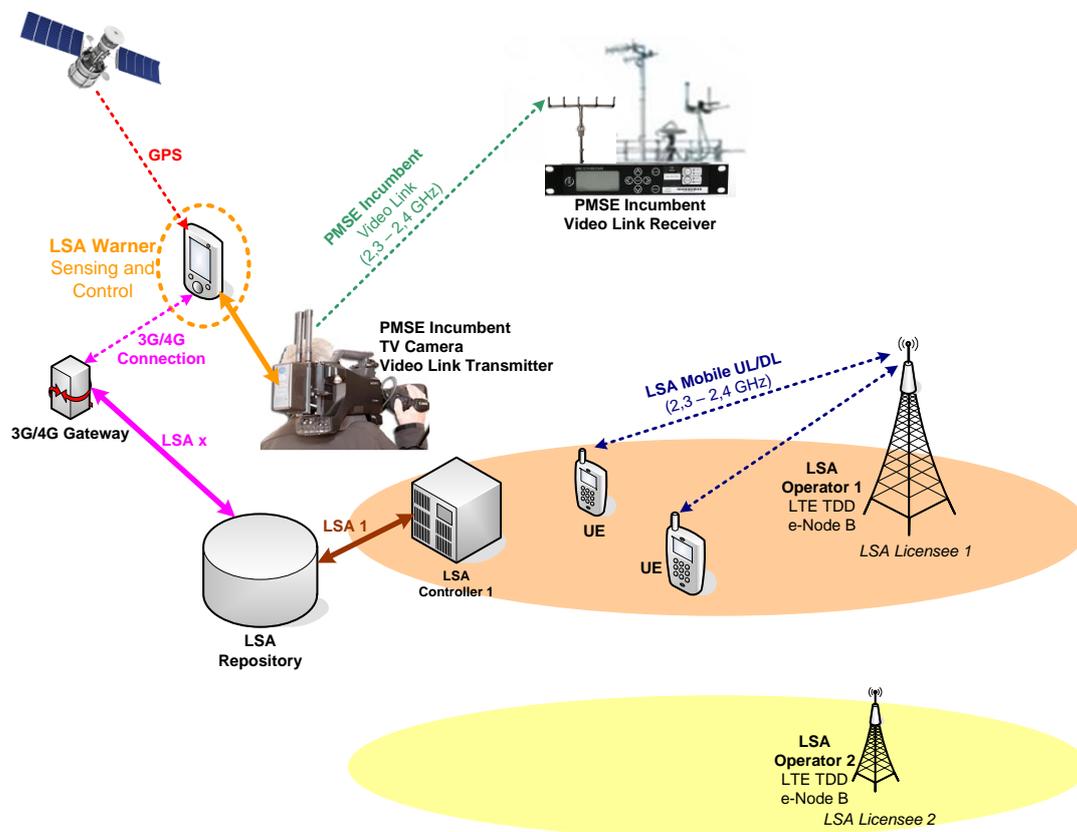


Figura 8 – Diagrama de blocos da rede piloto, implementada em Portugal, para teste do modelo LSA.

Atendendo às peculiaridades subjacentes à utilização do espectro em Portugal na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz, nesta implementação, houve a necessidade de inovar, desenvolvendo-se, em face das necessidades e desafios identificados, o dispositivo de sensorização (*LSA Warner*), e adaptando-se e redesenhando-se o controlador LSA e respetivos protocolos de comunicação com o *Warner* e algoritmos de gestão da rede.

As secções seguintes serão dedicadas a estes aspetos inovadores da implementação portuguesa do modelo LSA, devotando-se particular atenção aos vários estágios de desenvolvimento do *Warner* e aos protocolos e algoritmos do controlador LSA.

2.1 DISPOSITIVO DE SENSORIZAÇÃO E AVISO (LSA WARNER)

Tendo em consideração as especificações deste piloto, desenvolveu-se um dispositivo de sensorização e aviso (LSA Warner). Este aparelho tem como principais funções a monitorização do espectro na faixa dos 2,3 - 2,4 GHz, a capacidade de obter coordenadas GPS referentes à sua localização e comunicar com um repositório, de modo a transmitir toda a informação capturada. Numa abordagem inicial e para responder a estes requisitos, foi projetado um protótipo, representado na Figura 9, que implementava o conceito básico do sistema.

Resumidamente, este sistema é constituído por uma antena de receção, adaptada para a faixa de frequências em questão, seguido de um módulo que monitoriza a ocupação da faixa em que o sistema LSA opera (2,3 – 2,4 GHz). A informação capturada pelo monitor de espectro é enviada para uma unidade de controlo, responsável por tratar essa informação e enviá-la para o repositório, assim como, receber e tratar a informação vinda do recetor de GPS.

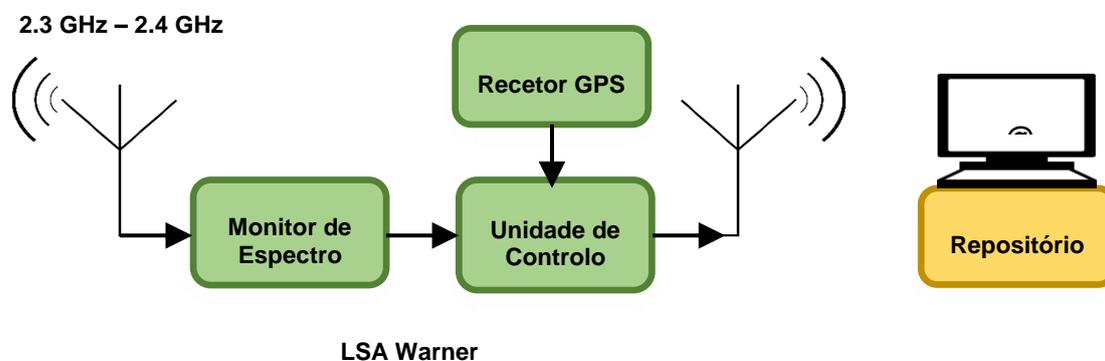


Figura 9 – Diagrama de blocos da rede piloto, implementada em Portugal, para teste do modelo LSA.

Durante o seu projeto e conceção, foram desenvolvidas várias versões do protótipo. Cada uma delas introduzindo uma nova funcionalidade em relação às anteriores, conforme resumido na Figura 10.

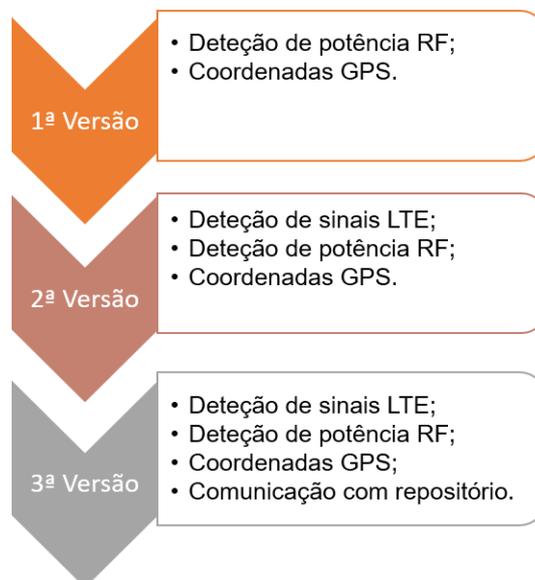


Figura 10 – Perspetiva evolutiva das várias alterações que o LSA Warner sofreu nas 3 versões que foram desenvolvidas.

Os detalhes de implementação e os resultados de cada uma das versões são apresentados em seguida.

2.1.1 1.ª VERSÃO DO WARNER

Na primeira versão do LSA Warner, pretendia-se que a monitorização espectral desenvolvida fosse capaz de detetar a potência de sinais RF presentes na faixa dos 2,3-2,4 GHz. Na Figura 11, é apresentado o diagrama de blocos desta primeira versão.

O primeiro bloco corresponde ao detetor de potência, com capacidade de filtragem, amplificação e conversão de RF para DC. Para tal, foi projetado um circuito de radiofrequência que convertesse proporcionalmente a potência de sinal capturada, na faixa de funcionamento do sistema, numa tensão DC. A partir desta tensão, à saída do sensor espectral, é possível inferir a existência de sinais na faixa. De seguida, esta tensão é amostrada por um conversor Analógico-Digital (ADC) de um microprocessador (unidade de controlo acima referenciada). Paralelamente, foi também implementado no Warner um sistema de aquisição de coordenadas GPS. Este microprocessador gere as leituras de GPS, de tensão do detetor de potência, e as comunicações

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

GSM/GPRS, de modo a enviar toda a informação recolhida para uma base de dados SQL, construída para efeitos de teste.

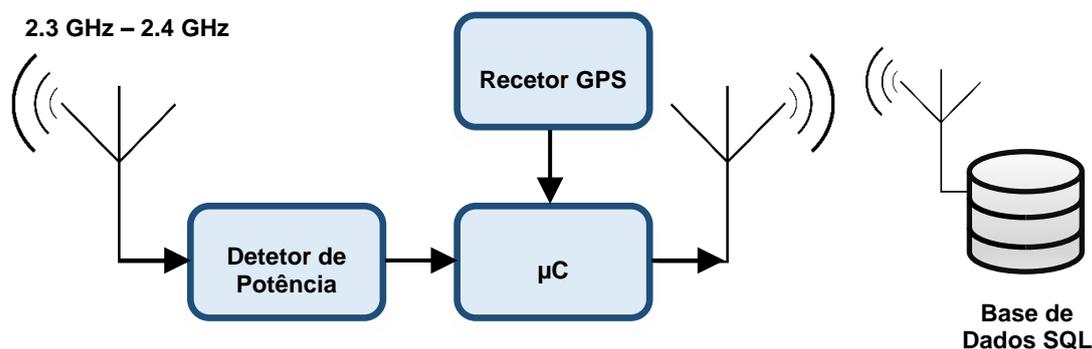


Figura 11 – Diagrama de blocos da 1.ª versão do LSA Warner.

Uma vez concluída a implementação deste primeiro protótipo, cujo produto final é mostrado na Figura 12 e Figura 13, foram realizados alguns testes, para verificar o seu funcionamento.

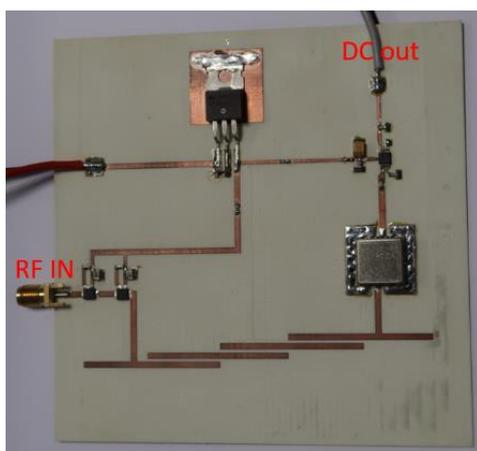


Figura 12 – Circuito final do detetor de potência.

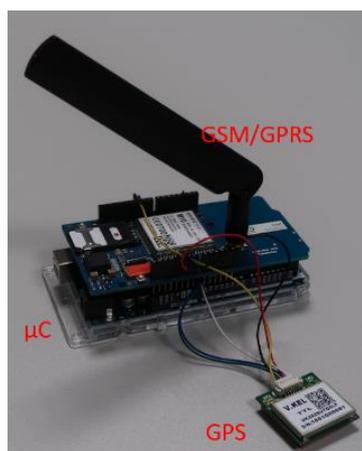


Figura 13 – Módulos de processamento e GPS do Warner.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

De acordo com o esperado, a tensão obtida à saída do detetor (Figura 14) revelou-se proporcional à potência de sinal RF. Porém, fora da faixa de frequências de operação, os sinais recebidos eram bastante atenuados. A comunicação com a base de dados SQL experimental foi, também, implementada com sucesso, confirmando-se a introdução, na base de dados, via GSM/GPRS, das coordenadas GPS e dos valores de tensão obtidos pelo detetor.

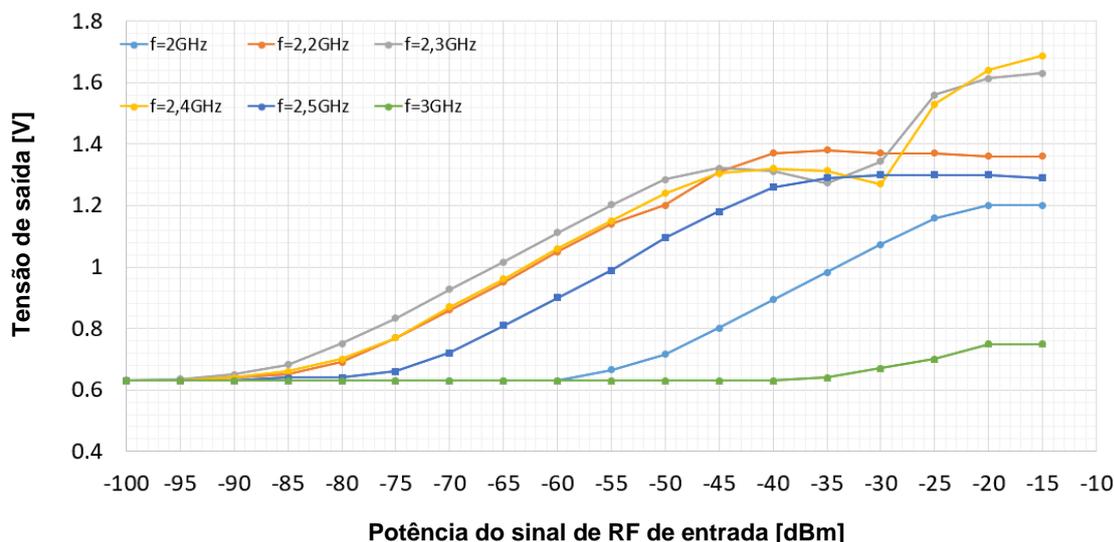


Figura 14 – Resultados obtidos com o detetor de potência implementado.

2.1.2 2.ª VERSÃO DO WARNER

Apesar da primeira versão do *LSA Warner*, já ter conseguido detetar sinais com uma determinada potência na faixa de operação do sistema LSA em testes, com esta implementação ainda não era possível recolher muita informação acerca da utilização da faixa dos 2,3, - 2,4 GHz. Na realidade, conseguia-se apenas saber que estava a ser transmitido um sinal, com determinada potência, numa frequência desconhecida, dentro dessa faixa.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Perante esta limitação, foi necessário desenvolver uma solução que permitisse identificar, com maior detalhe e resolução, os sinais existentes em toda a faixa, assim como as respetivas frequências de emissão. Para tal, a estratégia escolhida consistiu em dotar o *Warner* com capacidade de avaliar a presença de sinais associados às emissões específicas expectáveis para a faixa, no contexto do LSA, nomeadamente, LTE-TDD. Assim, sempre que fossem detetados sinais dos operadores móveis e os operadores PMSE quisessem iniciar uma transmissão naquela área, o controlador LSA, com base nesta informação, teria de atuar sobre as estações de base (eNode-Bs) respetivas.

Neste piloto, que decorreu sob condições de utilização controladas, apenas eram expectáveis dois tipos de sinais na faixa 2,3 – 2,4 GHz, os do operador PMSE incumbente, tipicamente DVB-T/T2 e LMS-T, e os sinais LTE-TDD dos operadores móveis, com diversas larguras de banda possíveis.

Por conseguinte, esta segunda versão do *Warner* foi idealizada para detetar, em concreto, a presença de sinais LTE-TDD, transmitidos na faixa. A introdução destas funcionalidades sujeitou o protótipo inicial a alterações significativas, obrigando à completa reformulação do módulo de deteção de sinais de RF. Tanto mais que, para além da receção dos sinais de RF, era necessário acautelar a capacidade de processamento necessária para tratar o sinal, de modo a obter a informação intrínseca que dele se pretendia extrair. Foi, para o fim exposto, escolhido um módulo que tem como base a tecnologia de *Field-Programmable Gate Array* (FPGA). Esta tecnologia permite implementar unidades com grandes necessidades de processamento, de forma versátil, dinâmica e otimizada, sendo estas características ideais para o que se pretende desenvolver no âmbito deste piloto.

Na Figura 15, apresenta-se o dispositivo que foi escolhido para a conceção do novo monitor espectral. A placa ADRV9361-Z7035 é um rádio definido por *software*, que inclui um *chip* FPGA Xilinx Z7035 Zynq®-7000 All Programmable SoC e um *transceiver* da Analog Devices, AD9361, capaz de receber sinais até 6 GHz, com uma largura banda máxima de 56 MHz. Este dispositivo incorpora todas as características necessárias para a implementação do detetor de sinais LTE e possui dimensões bastante reduzidas quando comparado com outras FPGA e/ou módulos RF convencionais.

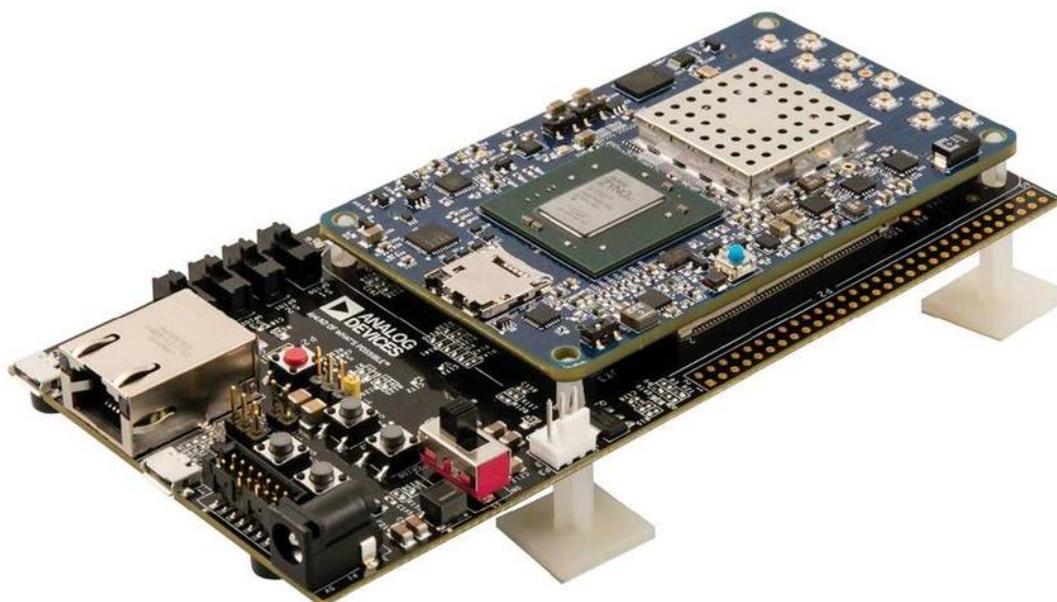


Figura 15 – Resultados obtidos com o detetor de potência implementado.

O detetor de sinais LTE baseia-se na correlação dos sinais de controlo, presentes na transmissão *downlink* LTE, mais precisamente, dos sinais de sincronização primária, que são sempre transmitidos, mesmo quando não existe nenhuma ligação com a estação base / *User Equipment* (UE).

Na Figura 16, é apresentada uma trama completa de *downlink* TDD de um sinal LTE. Esta trama corresponde a um trecho de 10 ms de sinal e está dividida em subtramas que, por sua vez, estão subdivididas em *slots*. Assim que a trama acaba de ser transmitida, a estação base recalcula toda a informação dos *slots* e transmite mais 10 ms de sinal. Quer ocorram alterações na trama ou não, existe sempre um conjunto de sinais de controlo e sincronismo que são transmitidos e que são consistentes com o tipo de estação base e de sinal a ser emitido. Apesar da existência de uma diversidade considerável de sinais deste tipo, a abordagem aqui seguida recorrerá apenas aos de sincronismo.

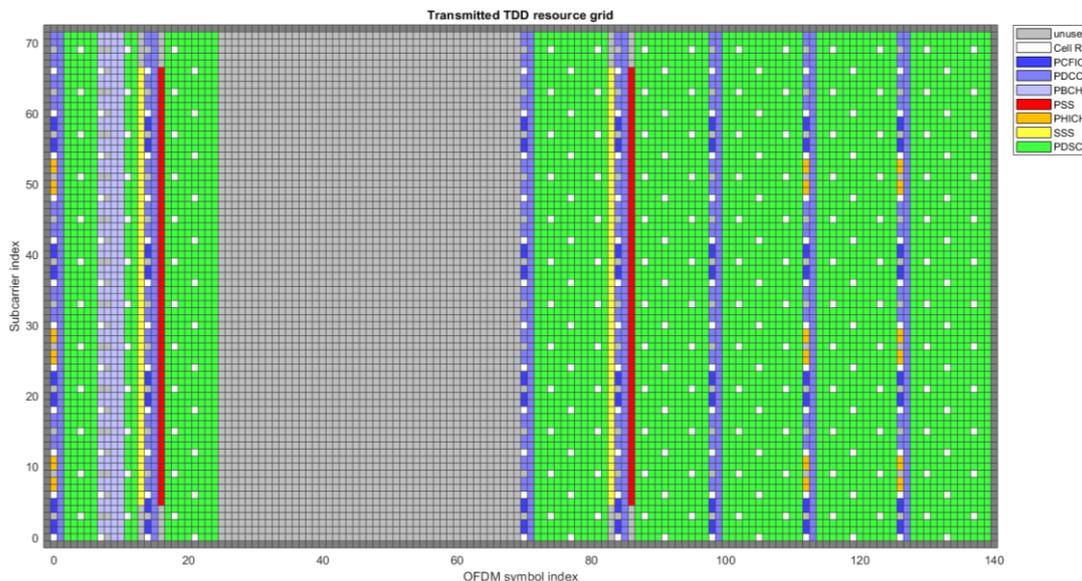


Figura 16 – Exemplo de uma trama LTE TDD com uma largura de banda de 1,4 MHz.

Existem dois tipos de sinais de sincronismo, o primário (PSS) e o secundário (SSS), que estão representados, na Figura 16, a amarelo e a vermelho, respetivamente. Estes são os primeiros sinais a serem procurados pelo UE para se sincronizar com a rede do operador, adquirir a informação referente à largura de banda do canal, se o sinal é TDD ou FDD, e para obter o PCI – *Physical Cell Identifier*.

Nesta implementação em particular, o detetor do Warner apenas recorre aos sinais PSS, que são compostos por sequências *Zadoff-Chu*, que lhes conferem características distintas e que facilitam a sua correlação, quer no domínio do tempo, quer no domínio da frequência, ideais para a sua deteção.

Na abordagem seguida para o desenvolvimento e implementação do detetor de sinais LTE, existindo três tipos diferentes de sinais PSS, considerou-se que estas três possibilidades seriam guardadas em memória. Enquanto o *front-end* de RF recebe o sinal de RF, a FPGA correlaciona-o, em simultâneo, com os três sinais PSS guardados. O valor resultante desta correlação é tanto mais alto quanto maior for a semelhança entre os sinais guardados e os recebidos pelo *front-end*. Assim, quando se obtém um pico de correlação, é possível inferir que se está, efetivamente, na presença de um sinal LTE. A partir das configurações usadas no SDR é também possível identificar a

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

frequência do sinal capturado. Para o efeito, recorre-se a um varrimento de frequências, dentro da faixa de operação do sistema (2,3 a 2,4 GHz), em intervalos de 5 MHz, de modo a extrair informação relativa à eventual presença de sinais LTE.

Antes de se partir para a implementação do correlacionador de sinais PSS em *hardware*, o seu funcionamento foi devidamente simulado em *software*. Para tal, foi usado um segmento de um sinal LTE, com a duração de 10 ms, capturado de uma estação base LTE, e que foi correlacionado com os três tipos de PSS. Como se pode ver na Figura 17, existem, conforme esperado, dois máximos nos resultados das correlações. É, por isso, bastante evidente a diferença nos resultados obtidos para as três correlações simuladas, destacando-se claramente o tipo de PSS usado e que se trata, efetivamente, de um sinal LTE. De realçar que os dois máximos obtidos na correlação estão separados exatamente 5 ms um do outro, o que seria de esperar, uma vez que a trama LTE tem duas repetições do sinal PSS, com uma diferença de 5 ms, entre si.

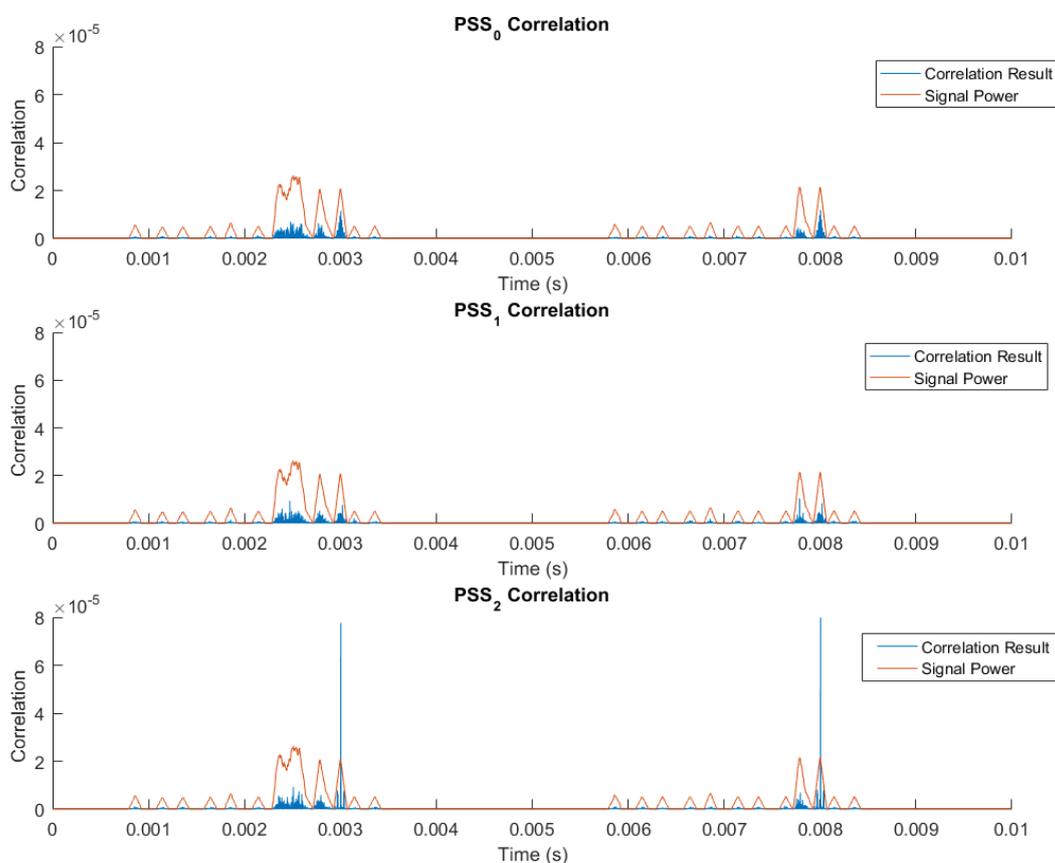


Figura 17 – Resultados da simulação do correlacionador.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Finalizado o correlacionador, foi necessário acrescentar um andar subsequente, neste detetor, destinado a validar a presença de sinais LTE com base na informação obtida. Para o efeito, desenvolveu-se um detetor de máximos de correlação, capaz de decidir, com um determinado grau de confiança, se se trata, ou não, de um sinal válido, minimizando-se a ocorrência de falsos positivos.

Nesta validação, foram usadas duas condições para análise de correlação: a comparação do valor de potência de sinal obtido com o valor da correlação, e a distância temporal entre os dois máximos. Como se pode observar na Figura 17, o valor do máximo de correlação é muito superior ao valor de potência calculada, enquanto que, quando não existe correlação entre sinais, o valor de potência do sinal é sempre superior à correlação. Posto isto, foi usado, como limiar de deteção de máximo, o valor da potência calculada. Uma vez verificada esta condição, o tempo em que esse máximo foi detetado é guardado para que possa ser comparado com o tempo no qual se obteve o máximo subsequente. Caso a diferença entre os tempos de ocorrência dos dois máximos seja exatamente 5 ms, o detetor de máximo sinaliza que está na presença de um sinal LTE válido. A Figura 18 pretende ilustrar o princípio de funcionamento do detetor de máximos, sendo que, no gráfico superior, são apresentados os resultados da correlação e, no gráfico inferior, é apresentado o sinal que é extraído do detetor.

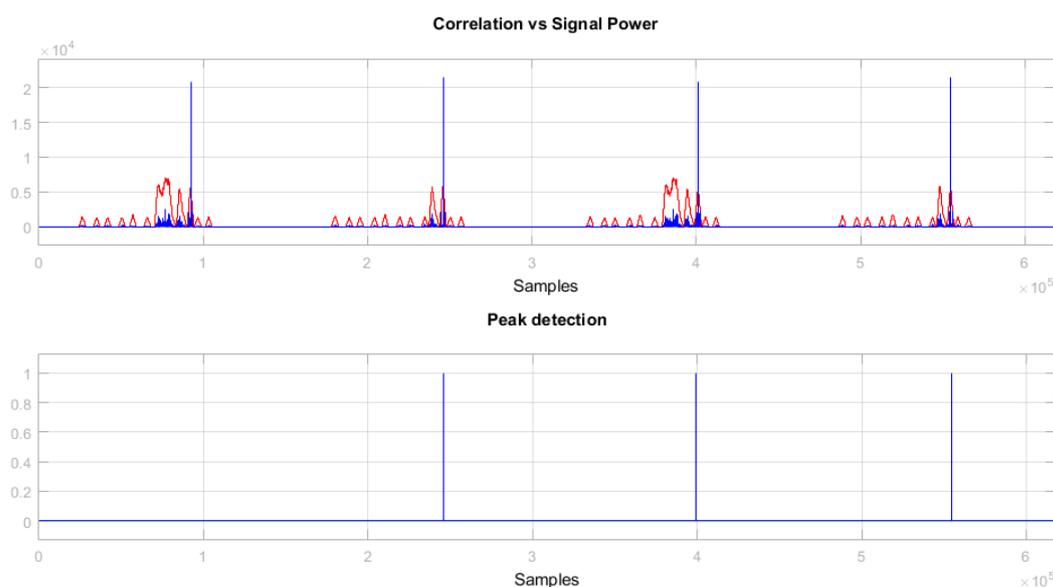


Figura 18 – Resultados obtidos com o detetor de máximos.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

2.1.3 3.ª VERSÃO DO WARNER

Até esta fase, o módulo do detetor espectral já incorporava as principais funcionalidades pretendidas para os testes de campo. No entanto, o protocolo de comunicação com o repositório (temporário de testes) ainda era muito básico e inseguro, sendo necessário melhorar esta vertente do *Warner*, de modo a poder estabelecer ligações seguras com o repositório da Fairspectrum, integrado no sistema de gestão e controlo LSA.

Devido à maior complexidade do protocolo e aos requisitos de utilização de um sistema operativo Linux, houve necessidade de recorrer a uma unidade de controlo mais evoluída do que a usada anteriormente, escolhendo-se, para o efeito, um microprocessador *Raspberry PI 3B+* (Figura 19), que já permite, num ambiente Linux, implementar e validar as comunicações a estabelecer com os diferentes módulos do *Warner* e com o repositório. Para a receção de informação proveniente do monitor espectral e do módulo GPS, foi usada uma interface UART, uma vez que ambos os módulos não necessitam de velocidades de transmissão de informação elevadas, afigurando-se como uma solução adequada para a troca deste tipo de informação.



Figura 19 – Microprocessador escolhido para o Warner.

Com esta evolução, o *Warner* passou a dispor de todos os componentes de *hardware* necessários para responder a todos os requisitos inicialmente fixados. Na Figura 20, é apresentado o protótipo final do *LSA Warner*, que inclui o módulo de RF, módulo de

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

GPS e unidade de controlo. Para facilitar o transporte do *Warner* e acondicionar os componentes de forma estável e segura, concebeu-se uma estrutura plástica, impressa em 3D, na qual se montaram as placas de cada unidade e a antena de receção.

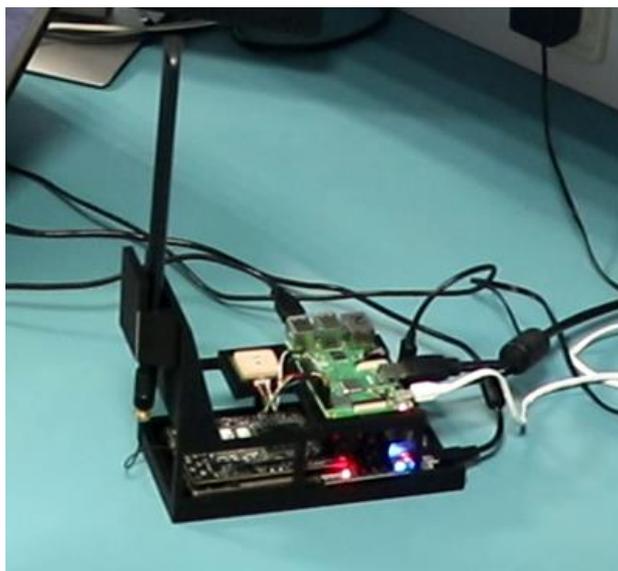


Figura 20 – Protótipo do *Warner*.

O protocolo de comunicação, entre o *Warner* e o repositório LSA, baseou-se na especificação “WINNF-TS-0016-V1.2.1 SAS to CBSD Technical Specification, Version V1.2.1, 3 January 2018”, que recorre a protocolos de transporte HTTPS, e em que a informação enviada é codificada através da notação JSON (*JavaScript Object Notation*).

A comunicação entre o *Warner* e o repositório inicia-se quando o primeiro envia, ao segundo, uma mensagem JSON de registo, que assinala a intenção de um dispositivo *Warner* se conectar. Esta mensagem contém informação acerca do identificador e das coordenadas geográficas do *Warner*. Se estas informações forem consideradas válidas, o repositório responde com um número de identificação, único para esta ligação, e com a confirmação, ou não, de que comunicação é válida. Caso o registo seja efetuado com sucesso, o *Warner* envia uma nova mensagem JSON, com todas as medições efetuadas, incluindo a potência de sinal, a frequência a que foram feitas as medições e a largura de banda ocupada pelo sinal. Após a receção desta mensagem, o repositório

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

envia uma nova mensagem de resposta, confirmando o sucesso na receção da mensagem. Finalmente, assim que o *Warner* termina o envio de toda a informação de que necessita, transmite uma mensagem a cancelar o registo atual, sinalizando dessa forma ao repositório que aquele *Warner* não pretende enviar mais dados. A Figura 21 sistematiza os vários passos do protocolo de comunicação, evidenciando-se todos os tipos de mensagens trocadas entre o *Warner* e o repositório.

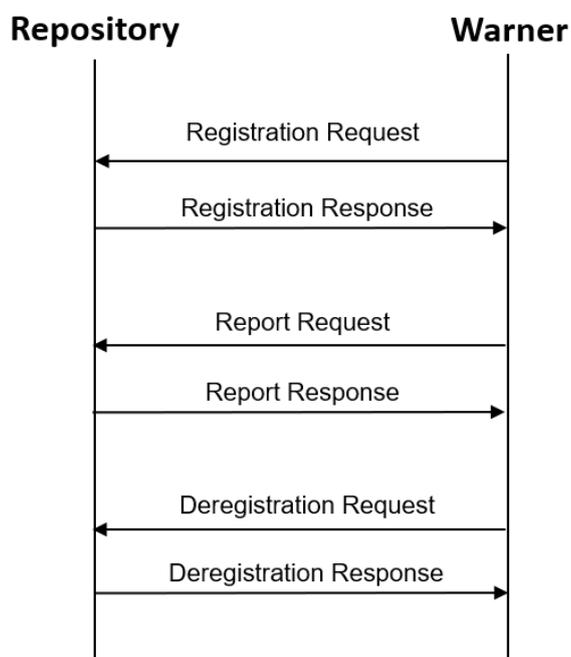


Figura 21 – Protocolo de comunicação entre o *Warner* e o Repositório.

Outro aspeto, que importa referir, é o facto de, nesta fase, o *Warner* precisar de uma ligação Wi-Fi para estabelecer as comunicações com o repositório. Na Figura 22, é apresentada a linha de comandos da unidade de controlo, que permite monitorizar o envio das três mensagens diferentes, do *Warner* para o repositório, com a periodicidade que for definida pelo utilizador.

```
Initializing ... done
Reading Warner ... done

Sending Information:
Registration ... done
Reporting ... done
Deregistration ... done
Reading Warner ... done

Sending Information:
Registration ... done
Reporting ... done
Deregistration ... done
Reading Warner ... done

Sending Information:
Registration ... done
Reporting ... done
Deregistration ... done
```

Figura 22 – Resultados da implementação do protocolo com o Repositório.

2.1.4 ALGORITMO GERAL DE GESTÃO DO WARNER

Terminada a implementação dos blocos fundamentais do *Warner*, foi necessário desenvolver um algoritmo que permitisse gerir o seu bom funcionamento, sincronizando e interligando adequadamente todos os módulos e funcionalidades. Toda a gestão do *Warner* foi, então, centralizada na unidade de controlo do *Warner* que, basicamente, garante a execução da sequência de ações que é sistematizada no fluxograma da Figura 23.

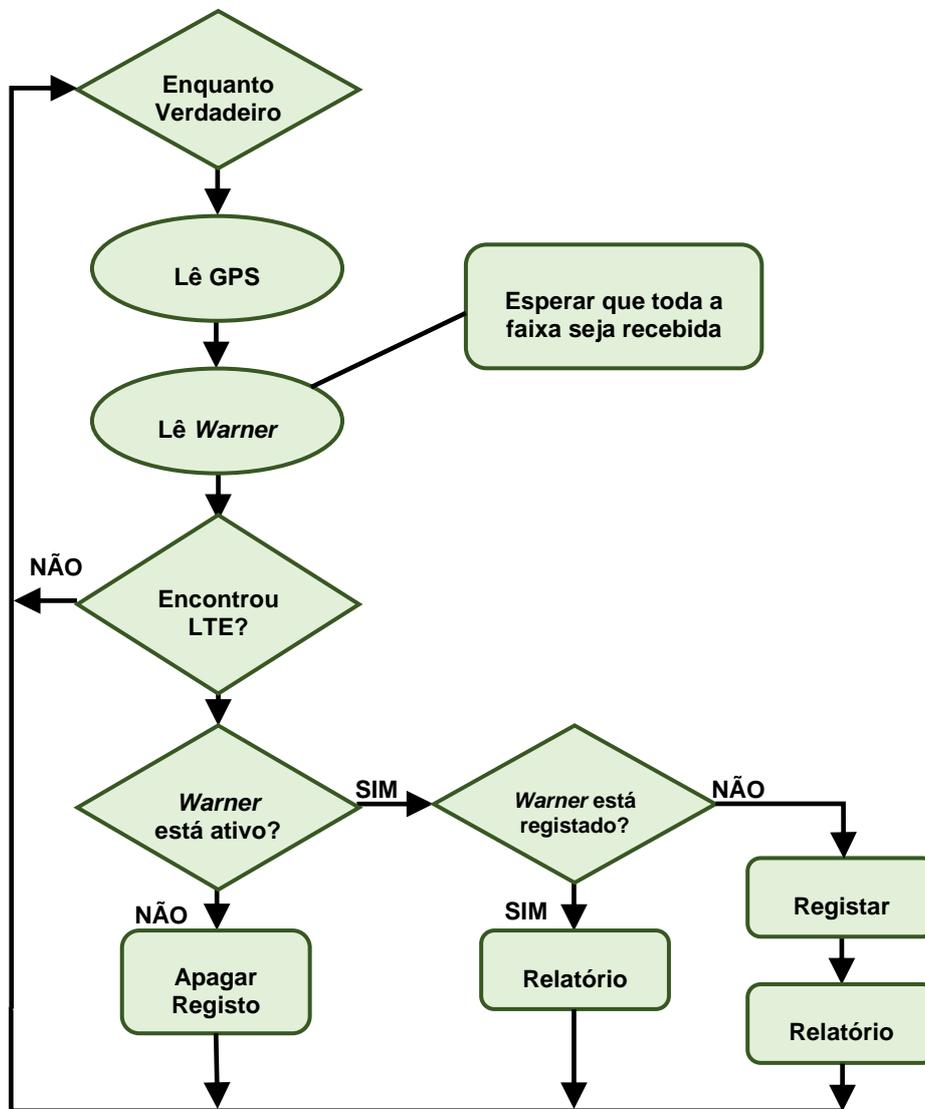


Figura 23 – Diagrama de blocos que representa o funcionamento do Warner como um todo.

2.2 CONTROLADOR E REPOSITÓRIO LSA

A Fairspectrum implementou o sistema de gestão e controlo LSA no piloto português. Este sistema recebe a informação recolhida pelo Warner que é passada ao repositório LSA, e o controlador LSA analisa os reportes do Warner e controla os parâmetros de

operação dos eNodeB's LTE, de modo que interferências prejudiciais não afetem os recetores PMSE. A Figura 24 apresenta a perspetiva global da arquitetura do sistema.

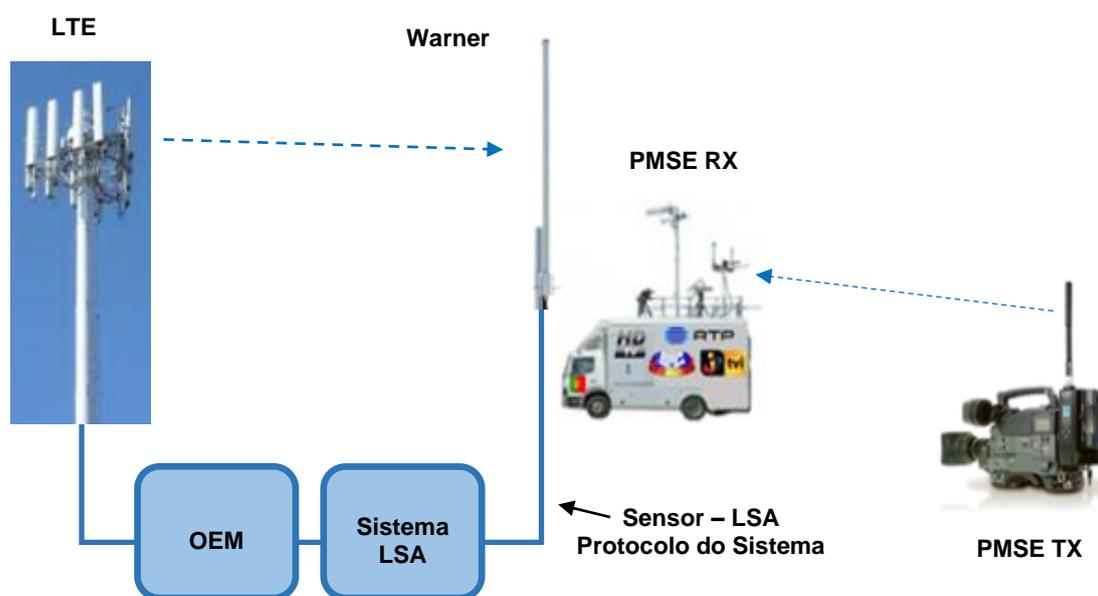


Figura 24 – Descrição do sistema.

2.2.1 CONTROLADOR LSA DA FAIRSPECTRUM

O **controlador LSA**, enquanto parte integrante do sistema de gestão e controlo LSA, subdivide-se em duas partes:

- **Servidor LSA** para o Mobile Network Operator (MNO), localizado nos servidores da Fairspectrum na Amazon AWS
- **Aplicação JAVA** instalada dentro da Intranet do MNO.

A Intranet do MNO foi isolada da Internet pública através de uma *firewall*.

O sistema de gestão e controlo LSA recebe a informação de sensorização enviada pelo *Warner*, via sensor, fazendo uso do protocolo do sistema LSA. Com base nessa informação, a Fairspectrum controlou os níveis de potência da estação de base, através

do OEM. Do lado do protocolo de interface da OAM existia um servidor, mas a *firewall* do MNO não permitiu a entrada de quaisquer ligações provenientes do exterior. O problema de conectividade da *firewall* foi ultrapassado com a aplicação JAVA residente no interior da Intranet do MNO. Esta aplicação atuou como um cliente da OAM e, enquanto cliente do servidor LSA para o MNO, através da *firewall* do MNO. Adicionalmente, o sistema de gestão e controlo LSA tinha um servidor para o Warner LSA.

O porto de entrada 80 ou 443 estava aberto na OAM para a aplicação JAVA poder aceder ao *OAM's Persistency* e aos serviços *Web* do CM.

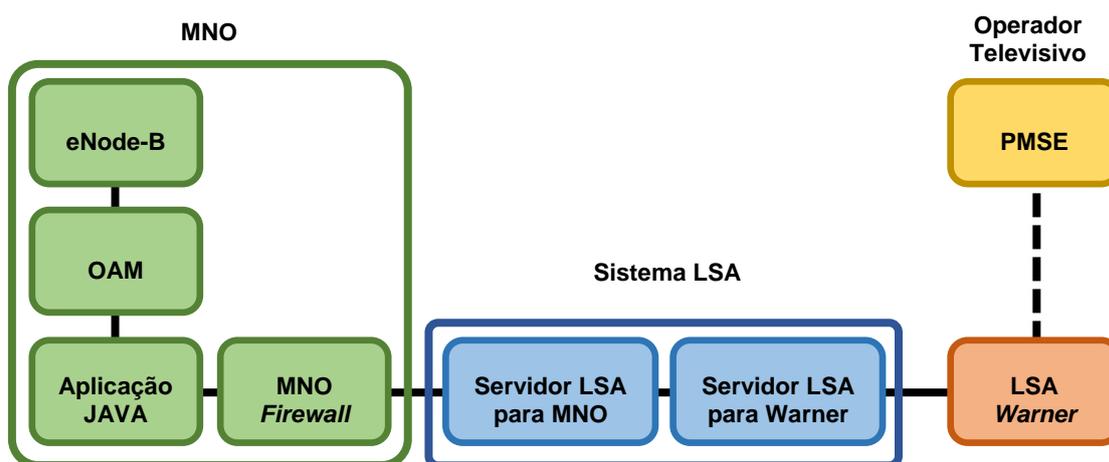


Figura 25 – Arquitetura das ligações.

2.2.2 ALGORITMO DO SISTEMA LSA

O sistema de gestão e controlo LSA foi operado de modo a que, se o Warner LSA reportasse uma medição com um nível de potência recebido demasiado elevado de um eNode-B ID, o sistema LSA controlava o desligamento do eNode-B que tivesse esse eNode-B ID. O *software* que controlava a operação do sistema LSA tinha dois ciclos imbricados. O ciclo exterior percorria todos os *Warners* e o ciclo interior percorria as medições realizadas por cada um desses *Warners*, como se indica na estrutura abaixo.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Ciclo de Warners

Ciclo de Medições

Medição recebida (LTE ID, nível de potência recebido)

Se a medição o exigir, reduzir a potência da estação de base com esse LTE ID

Próxima medição

Próximo Warner

O fluxo de mensagens entre o *Warner*, o sistema de gestão e controlo LSA e o OAM é apresentado na Figura 26.

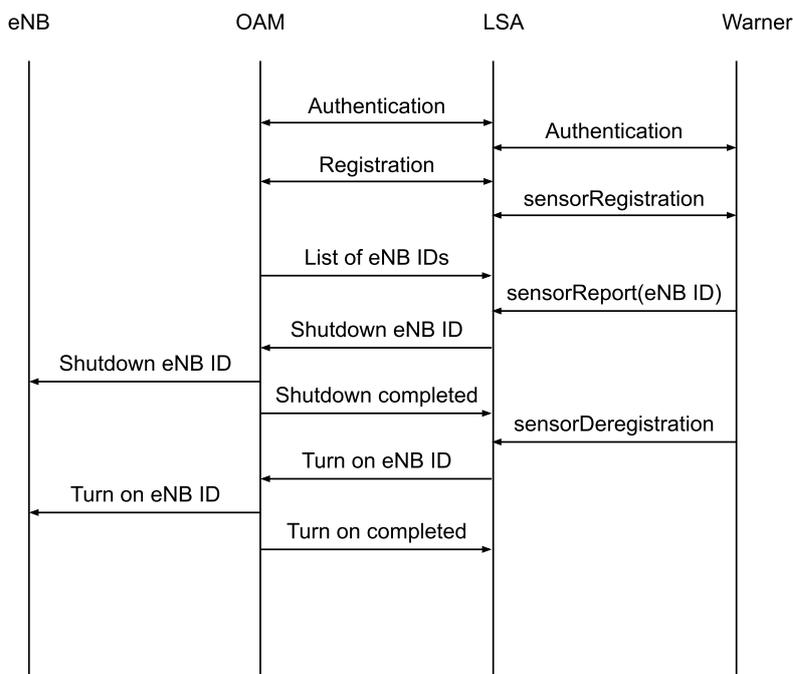


Figura 26 – Fluxo de mensagens, autenticação e registo OAM (não usado na demonstração), e lista de eNodeB Ids (não usada).

A codificação do protocolo foi realizada de acordo com o CBRS SAS para a especificação CBSD, referência da especificação: WINNF-TS-0016-V1.2.1 SAS to CBSD Technical Specification, Version V1.2.1, 3 January 2018:

<https://workspace.winnforum.org/higherlogic/ws/public/download/5006/WINNF-TS-0016-V1.2.1%20SAS%20to%20CBSD%20Technical%20Specification.pdf>.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

A autenticação é descrita na secção 8.2 do Procedimento de Autenticação. A certificação de autenticação mútua seria a opção preferencial, mas não foi usada nesta demonstração. As mensagens foram codificadas usando JSON (*JavaScript Object Notation*) conforme definido na IETF REF-7159. O HTTPS foi usado como protocolo de transporte para o sensor, na troca de mensagens com o sistema de gestão e controlo LSA. Este sistema LSA incluiu o seu sistema temporal, a partir do qual, todos os temporizadores dos sensores se sincronizavam, através do cabeçalho do campo “Date HTTP” que consta das mensagens do sistema de gestão e controlo LSA, em todos os sensores.

Um exemplo de um cabeçalho de uma mensagem de pedido HTTP é:

```
POST /v1.2/sensorRegistration HTTP/1.1 Host: www.fsptsm.com Content-type: application/json Date: Mon, 03 Oct 2016 11:07:33 GMT
```

O método “HTTP POST” foi usado para todos os pedidos originados no sensor e dirigidos ao sistema de gestão e controlo LSA. O POST foi enviado ao endereço “SAS URL”, terminando com a string “/{sm_version_number}/{sm_method_name}” para indicar a versão do protocolo entre o sensor e o sistema LSA e o nome do método do sistema LSA para a mensagem. Os métodos do sistema de gestão e controlo LSA corresponderam a um par de mensagens de pedido e de resposta, conforme definidos na Tabela 1.

sm_method_name	JSON Array Name of Request Message	JSON Array Name of Response Message
sensorRegistration	sensorRegistrationRequest	sensorRegistrationResponse
sensorReport	sensorReportRequest	sensorReportResponse
sensorDeregistration	sensorDeregistrationRequest	sensorDeregistrationResponse

Tabela 1 - Métodos do sistema de gestão e controlo LSA.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Exemplos de mensagens JSON:

Registo do Sensor

```
{
  "sensorRegistrationRequest": [{
    "sensorName": "Warner1",
    "sensorType": "Warner",
    "installationParam": {
      "latitude": 37.419735,
      "longitude": -122.072205,
      "height": 6,
      "heightType": "AGL",
      "indoorDeployment": false
    }
  }]
}
```

```
{
  "sensorRegistrationResponse": [{
    "sensorId": "5CC72110-B07E-482D-9177-869DD89A8B25",
    "response": {
      "responseCode": 0,
      "responseMessage": "SUCCESS",
      "responseData": {
        "sensorName": "Warner1"
      }
    }
  }]
}
```

Relatório do Sensor

```
{
  "sensorReportRequest": [{
    "sensorId": "5695F6BE-092D-41CE-817F-393F662B6193",
    "measReport": {
      "rcvdPowerMeasReports": [{
        "nodeName": "LTE_ID_1",
        "measFrequency": 2300000000,

```

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

```
        "measBandwidth": 10000000,  
        "measRcvdPower": -21  
    },  
    {  
        "nodeName": "LTE_ID_2",  
        "measFrequency": 23010000000,  
        "measBandwidth": 10000000,  
        "measRcvdPower": -21  
    }  
]  
}  
}]  
}
```

```
{  
  "sensorReportResponse": [{  
    "response": {  
      "responseCode": 0,  
      "responseMessage": ""  
    }  
  }  
]  
}
```

Cancelamento do registo do Sensor

```
{  
  "sensorDeregistrationRequest": [{  
    "sensorId": "5695F6BE-092D-41CE-817F-393F662B6193"  
  }  
]  
}  
{  
  "sensorDeregistrationResponse": [{  
    "response": {  
      "responseCode": 0,  
      "responseMessage": ""  
    }  
  }  
]  
}
```

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

responseCode Value	Name	Description
0	SUCCESS	PMSE can transmit
103	INVALID_VALUE	A list of parameters names with invalid values

Tabela 2 – Códigos de resposta.

Durante os testes realizados neste este piloto, foram identificados problemas de segurança. Como tal, todas as mensagens deverão ser encriptadas. Como os protocolos escolhidos foram transportados sobre HTTP, neste caso, o TLS é a escolha natural para acautelar a segurança na camada de transporte. Ambos os pontos extremos do protocolo de comunicação deverão estar sujeitos a autenticação. Quando o TLS é usado para segurança, a opção primária passa por utilizar o certificado de autenticação do cliente e servidor. As alternativas para assegurar comunicações seguras, extremo a extremo, passam por usar protocolos com túneis seguros, tais como IPSec ou SSH. Relativamente à aplicação JAVA a correr na rede do MNO, nesta implementação em concreto, o MNO referiu a preocupação quanto ao risco de poderem vir a ocorrer alterações na sua rede, caso esta viesse a ser comprometida. Num sistema operacional, os direitos de acesso da API da aplicação Java para controlar a OAM e os eNBs, devem ser restringidos ao mínimo.

2.3 REDES MÓVEIS DE TESTE

A intenção de disponibilização de 3 estações distintas a operar nos 2,3 – 2,4 GHz, em LTE TDD, uma de cada operador móvel, ficou limitada devido a alguns constrangimentos enfrentados pela Vodafone relacionados sobretudo com a disponibilização de equipamento com essas características no local dos testes.

Deste modo, a Vodafone facultou a localização de estações suas a operar “alive” em 2,6 GHz TDD, em Lisboa e no Porto, de modo a que os dispositivos de sensorização e

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

aviso desenvolvidos pelo IT pudessem ser “calibrados”, ainda antes dos testes finais na rede piloto.

As estações disponibilizadas para a rede piloto acabaram assim por ser apenas duas: a da Nokia, ligada à rede de testes da NOS, e a da Huawei, ligada à Rede da MEO.

2.3.1 REDE DA NOS E NOKIA

Para a implementação do nó B (eNode-B), necessário para os testes de campo, foi disponibilizada uma *Small Cell* Nokia Flexi Zone Micro. A escolha do equipamento recaiu na versatilidade de instalação, mantendo a paridade de software e funcionalidades com as estações em exploração.

As especificações principais do modelo utilizado são as que se apresentam em seguida na Tabela 3 e Tabela 4.

FWND – Flexi Zone Micro TD-LTE, Band 40 (full band)	
Property	Value
LTE Band Support	2300-2400 MHz (Band 40)
RF Output	250mW to 5W per Tx Branch, 2T2R MIMO
Carrier Bandwidth Support	5, 10, 15, 20MHz, up to 2 carriers
Connected Users Support	840
Dimensions	H: 247 mm W: 327 mm D: 120 mm W: 6.2 kg V: 7.2 L
Synchronization	SynchE RF GPS IEEE1588v2 (Frequency/Time/Phase)
Backhaul	100/1000 Base-T Copper and Fiber Port Types: 1 RJ45 Ethernet & 2 SFP based Fiber SFP Supported: SX, LX, BX, G-PON, E-PON
Antenna	Configuration: 2Tx / 2Rx MIMO Type: Stick, Remote, Integrated Directional

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

FWND – Flexi Zone Micro TD-LTE, Band 40 (full band)	
Property	Value
	Connector: N-Type
Local Maintenance Ports	Bluetooth or Unused RJ45 Port
Input Power	90 – 264 VAC
Status Indicators	Status, Backhaul, Tx
Power Consumption	Max: 110W; Typ: 100W
Fans	No
Mounting Options	Wall or Pole Mount
Emission	TS36.104 Rev-11 Medium Area
VSWR Measurement	Yes
Transmit Monitoring	Yes
Power Adjustment	Range: 13dB Steps: 1dB
Tx Power Variation vs. Temp/Voltage	± 2.5dB over temp
Tx Mask	-15dBm/MHz ACLR Per TS36.104 for 3GPPP Rel-11 Medium Area
Tx Conducted Spurs	Cat B per 3GPP TS36.104 Rel-11 Medium Area
Rx Sensitivity	TS 36.104 for 3GPP Rel-11 Medium Area
Emission Specification	EN 55022:2006, Class B
Acoustic	Fan-less
Mounting Bracket	Fixed / Tilting
Operational Temperature Range	- 40°C to +55°C
Storage Temperature Range	- 40°C to +70°C
Ingress Protection Rating	IP65
Seismic	Zone-4

Tabela 3 – Especificações FWND – Flexi Zone Micro TD-LTE, Band 40 (full band)

FAWN – Integrated antenna pannel	
Property	Value
Frequency range	2300-2400 MHz (band 40)
Antenna gain	LTE: ~8.25 dBi
Antenna beamwidth	Horizontal: 70° Vertical: 60°
Antenna configuration	2TX/2RX MIMO

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

FAWN – Integrated antenna panel	
Property	Value
Antenna ports (mounting)	N-type
TX monitor ports	SMA-type

Tabela 4 – Especificações FAWN – Integrated antenna panel

O eNode-B utilizado em Aveiro foi configurado em ambiente de testes e ligado, através da rede IP da NOS, ao Core do seu laboratório, localizado na Póvoa de Santo Adrião (Figura 27). Adicionalmente, foi configurada, sobre uma Máquina Virtual Linux, uma aplicação Java da Fairspectrum (VMApp Fairspectrum), com a função de receber as ordens do Servidor da Fairspectrum e de as traduzir em pedidos de rede para a plataforma de Operação e Manutenção (Netact), que opera e gere o e-NodeB de testes localizado em Aveiro.

Os pedidos de rede consistem em executar planos de rede com comandos de “lock cell” e “unlock cell” referentes aos e-NodeB de testes.

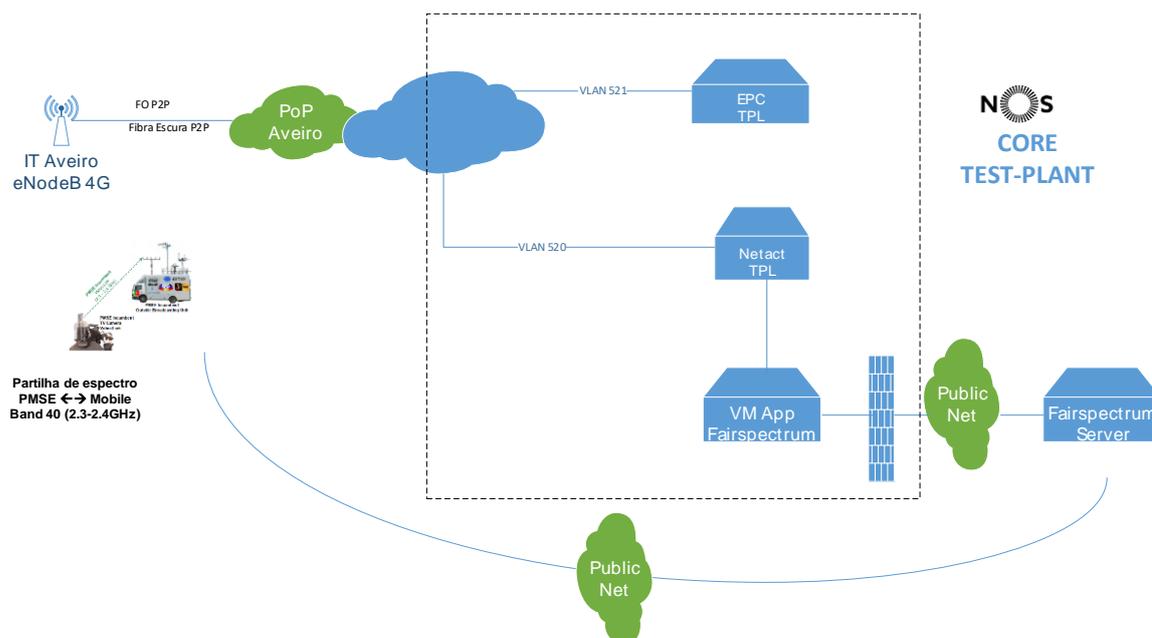


Figura 27 – Rede piloto de testes com ligação ao ambiente de testes da rede core da NOS.

2.3.2 REDE DA MEO E HUAWEI

A MEO disponibilizou um equipamento eNode-B Huawei que foi instalado no seu *site* da Universidade de Aveiro, configurado para LTE TDD nos 2.3GHz, 20MHz de largura de banda e 2 antenas para transmissão e 2 antenas para receção (2T2R) (Figura 28 e Figura 29).

A estação era constituída pelos seguintes conjuntos:

- 1 *Remote Radio Unit Book* RRU 3236E AC (30x20x10; 5W+5W) com antena integrada – Banda 40 [2.3GHz] + Antena GPS + Kit de Fibra Ótica (50m) + restantes acessórios
- 1 *Baseband Unit* BBU3900 +1 x Unidade de transmissão e processamento (LMPT) + 1 x Unidade de processamento (LBBPc)

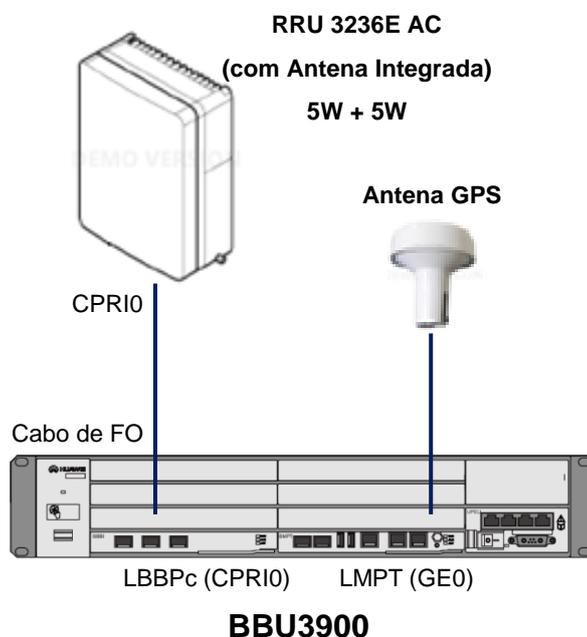


Figura 28 – eNode-B Huawei LTE TDD 2.3GHz instalado no *site* da MEO na Universidade de Aveiro.



Figura 29 – eNode-B Huawei (antena exterior e unidade interior).

2.4 SISTEMAS INCUMBENTES PMSE

Nos testes de campo, foram usados dois conjuntos de equipamentos PMSE de emissão e receção, disponibilizados pela RTP e TVI, com capacidade de operação na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz em estudo, ambos da marca VISLINK, e correspondentes antenas de emissão, assim como dois agregados lineares transversais, usados na receção, destinados a garantir diversidade espacial, constituídos por 4 antenas e respetivos *downconverters*. Esta configuração pretendia replicar uma operação típica de reportagem televisiva a partir do exterior, nesta faixa, e assim avaliar o impacto da introdução e coexistência do modelo LSA, quer em termos de viabilidade do conceito em si e da preservação, nessas circunstâncias, do desempenho e das características de qualidade de serviço dos sistemas incumbentes.

2.4.1 LIGAÇÕES DE VÍDEO DA RTP E TVI

Os sistemas PMSE da VISLINK utilizados eram constituídos, conforme se ilustra na Figura 30, por:

- 1 codificador e transmissor L1500 e respetiva antena de emissão
- 1 agregado de 4 antenas e respetivos *downconverters* L3025
- 1 unidade de receção L2174.



Figura 30 – Diagrama de interligação dos diversos componentes do sistema PMSE (Fonte: VISLINK).

3 TESTES REALIZADOS

Nos dias 28 e 29 de janeiro de 2019, decorreram no campus da Universidade de Aveiro, os testes de campo do piloto português, que permitiram validar o conceito de partilha de espectro introduzido pelo modelo LSA e avaliar o impacto da coexistência de sistemas PMSE incumbentes com redes móveis LTE TDD, tendo estado presentes os representantes dos parceiros envolvidos neste estudo.



Figura 31 – Equipa que realizou os testes de campo na Universidade de Aveiro

3.1 PREPARAÇÃO DOS TESTES NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

No primeiro dia de testes e após um *briefing* que teve lugar no Instituto de Telecomunicações, Pólo de Aveiro, com todos os parceiros, para definição de procedimentos e aceitação de uma agenda de trabalhos, começou-se por verificar em laboratório o correto funcionamento e configuração de todos os equipamentos a usar no plano de testes a realizar no exterior.

Submeteu-se o *Warner* a sinais de teste e estabeleceram-se as comunicações com o controlador LSA da Fairspectrum, instalado remotamente, de modo a confirmar a fiabilidade dos protocolos de interligação e dos algoritmos de gestão da rede (Figura 32).

Foram ainda previamente testados o eNode-B da Nokia (Figura 33), medindo-se em laboratório os sinais LTE emitidos (Figura 34), assim com a interligação à rede core de

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

testes da NOS. De igual modo se confirmou o correto funcionamento do eNode-B da Huawei, integrado na estação de base da MEO.

Finalmente, foi verificado o funcionamento do sistema PMSE (Figura 35).



Figura 32 – Teste do Warner e das comunicações com o Controlador LSA.



Figura 33 – Teste do eNode-B da Nokia.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

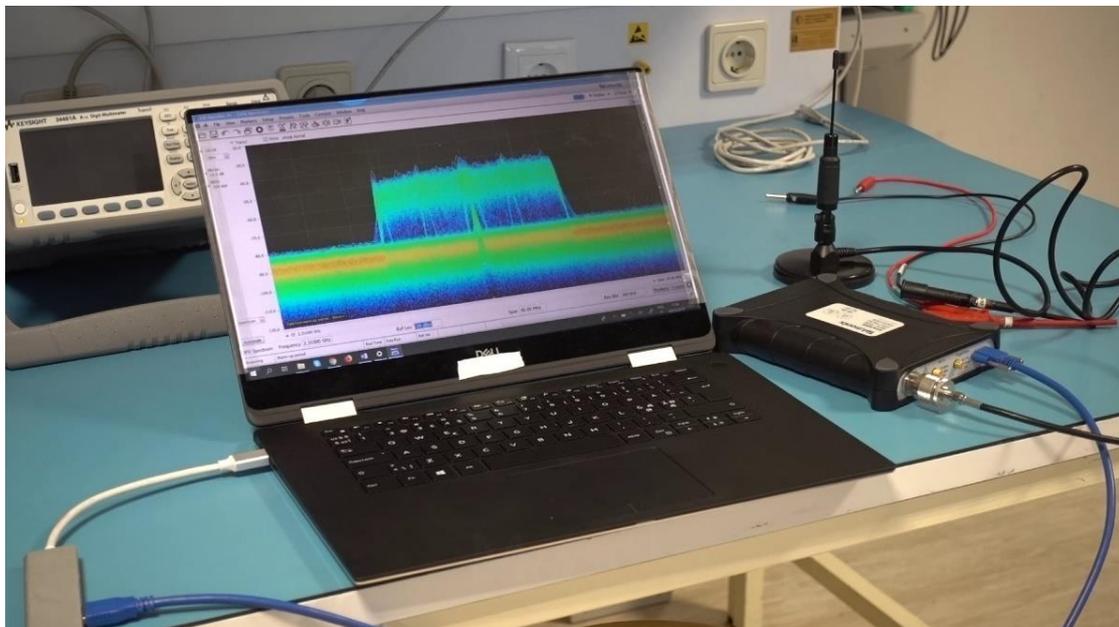


Figura 34 – Medições espectrais de tempo real aos sinais a usar nos testes.



Figura 35 – Teste do sistema de emissão PMSE.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

No exterior, foram também instaladas e verificadas todas as partes integrantes do sistema em testes, como de documenta nas imagens apresentadas em seguida.



Figura 36 – Antena do eNode-B da Huawei instalado na torre da MEO.



Figura 37 – eNode-B da Nokia instalado em estrutura portátil e sistema de emissão PMSE.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal



Figura 38 – Sistema de emissão e receção PMSE (teste da ligação de vídeo).



Figura 39 – Sistema de emissão PMSE (em operação).

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal



Figura 40 – Configuração dos sistemas de receção PMSE.



Figura 41 – Configuração do LSA Warner.



Figura 42 – Teste de interferência do *downlink* LTE TDD na receção de PMSE.

3.2 GUIÃO DE TESTES

Para a validação do modelo LSA, no contexto de utilização de frequências em Portugal, foi desenhado um guião de testes que implicou a escolha de cenários, de acordo com os aspetos a avaliar, em vários locais do campus da Universidade de Aveiro, e com diferentes arranjos de frequências de operação dos sistemas envolvidos.

3.2.1 LOCAIS E DELIMITAÇÃO DE ZONAS

A Figura 43 fornece uma perspetiva global das zonas de teste consideradas neste piloto.

Em concreto, foram escolhidas 2 grandes zonas:

- A. Zona envolvente aos edifícios do Instituto de Telecomunicações, onde foi instalado o eNode-B da Nokia/NOS
- B. Zona envolvente ao edifício da Reitoria, próximo do eNode-B da Huawei/MEO.

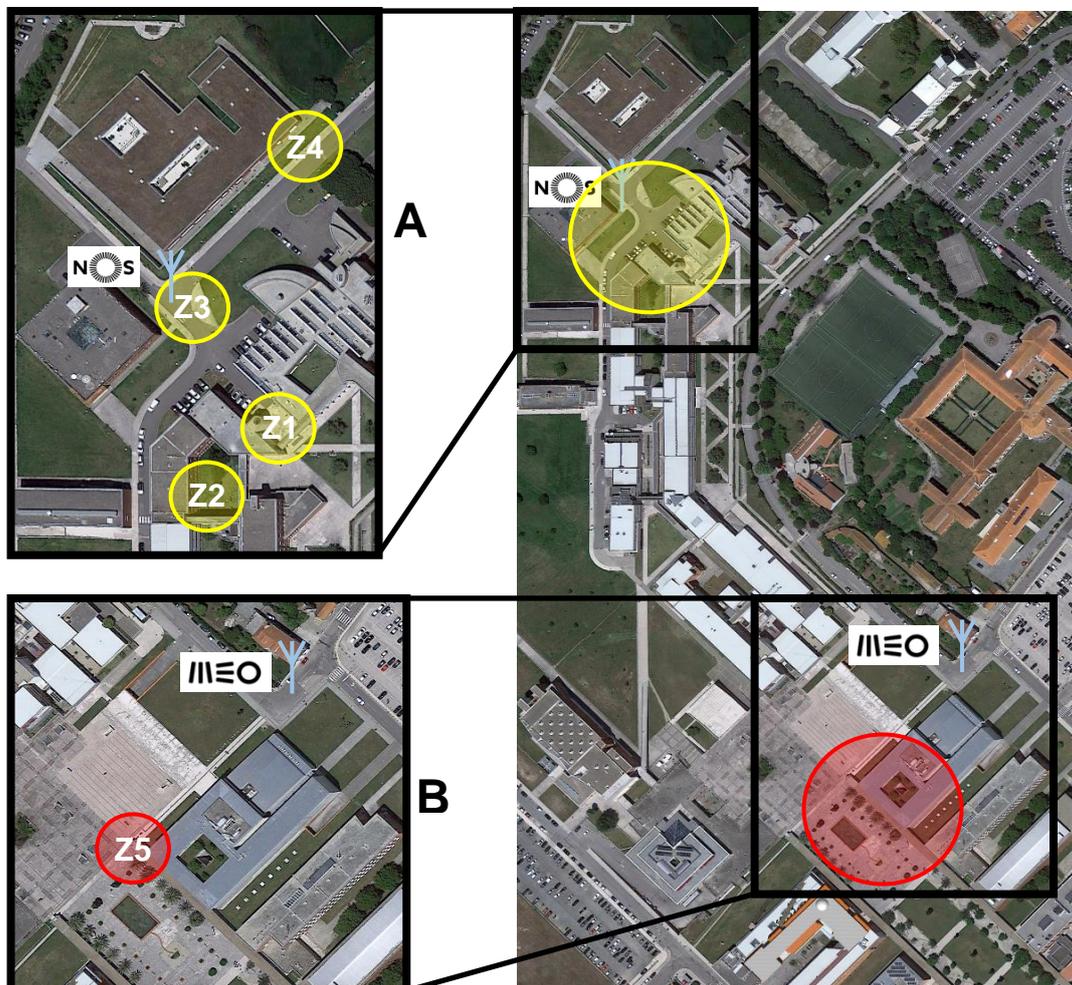


Figura 43 - Localização dos testes efetuados: A – Zona junto ao IT (eNode-B Nokia/NOS), B – Zona junto à Reitoria (eNode-B Huawei/MEO)

A escolha destas localizações resultou da necessidade de considerar, nos testes a realizar, o efeito das emissões LTE previstas, que é dependente do posicionamento das estações de base no terreno (representadas a azul, na Figura 43) face aos demais sistemas a testar, nomeadamente, o PMSE e o Warner LSA. Assim, e de modo a levar em linha de conta apenas o sinal LTE controlado pelo sistema LSA (somente disponível na estação de base da NOS)⁸, foram definidas as subzonas assinaladas a amarelo.

⁸ Devido a restrições de implementação, apenas foi possível interagir com uma das estações de base LTE-TDD, neste caso, a da NOS.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

A principal razão que assistiu à escolha do local da estação da NOS prendeu-se com a disponibilidade de infraestrutura de fibra ótica, nos laboratórios do IT, onde foi desenvolvido o protótipo do *Warner*, para interligação do eNode-B à rede core do operador.

Para a criação de cenários com condições de interferência mais adversas, devido aos sinais emitidos pelos operadores móveis (de ambas as estações de base) no PMSE, delimitaram-se as zonas a vermelho.

Apesar de apenas uma estação de base se encontrar a ser controlada pelo sistema LSA, ambas as estações estavam a disponibilizar o serviço através da tecnologia LTE-TDD (a da NOS em modo integrado com o controlador LSA da Fairspectrum e a da MEO em modo *stand-alone*, de forma manual). Ainda assim, as condições de teste concebidas foram adequadas para a análise do efeito da interferência de sinais LTE no desempenho dos sistemas PMSE, assim como para avaliar a capacidade do *Warner* detetar sinais LTE distintos, transmitidos em simultâneo.

Para que se pudesse abranger um conjunto alargado de situações, foram esboçados diferentes cenários de teste, considerando-se as situações de pior caso, ou de desempenho mais desfavorável para cada um dos sistemas em teste, que permitissem diagnosticar vulnerabilidades e limitações do *Warner* e do sistema de gestão e controlo LSA, quando operados em condições expectáveis de uma previsível exploração deste modelo, no contexto nacional.

Em seguida, na Tabela 5, são detalhadas as características das subzonas para os cenários delineados nos testes realizados.

Subzona	Características do local
Z1	A cerca de 70 metros do eNode-B da NOS, com linha de vista.
Z2	A cerca de 80 metros do eNode-B da NOS, sem linha de vista.
Z3	Na proximidade (a 2 metros) do eNode-B da NOS (com linha de vista).
Z4	A cerca de 70 metros do eNode-B da NOS, no interior do edifício do IT (sem linha de vista).
Z5	A cerca de 400 metros do eNode-B da NOS sem linha de vista, e a cerca de 100 metros do eNode-B da MEO com linha de vista.

Tabela 5 – Características das subzonas escolhidas para os testes.

3.2.2 PLANEAMENTO DE FREQUÊNCIAS PARA OS TESTES

De modo a considerar situações de interferência, entre os sinais PMSE e LTE, com diferentes graus de severidade, foram definidas três configurações de referência que se basearam nos arranjos de frequências, que a seguir se detalham, limitadas às possibilidades oferecidas pelos recursos disponíveis no ambiente de testes, nomeadamente, por se ter apenas um eNode-B controlável remotamente pelo sistema de gestão e controlo LSA.

Configurações de referência:

- C1:** Sinal PMSE (LB = 10 MHz) sobreposto a sinal LTE (LB = 20 MHz)
- C2 e C3:** Dois sinais PMSE (LB = 10 MHz) sobrepostos a um sinal LTE (LB = 20 MHz)
- C4:** Sinal PMSE (LB = 10 MHz) semi-sobreposto a sinal LTE (LB = 20 MHz).

3.2.2.1 Configuração C1: sinal PMSE sobreposto a um sinal LTE da NOS

Esta configuração considera um sinal PMSE com 10 MHz de largura de banda sobreposto a um sinal LTE de 20 MHz, ambos centrados na mesma frequência 2,31 GHz, conforme ilustrado na Figura 44. Com este arranjo pretende-se testar a capacidade de reação e de atuação do *Warner*.

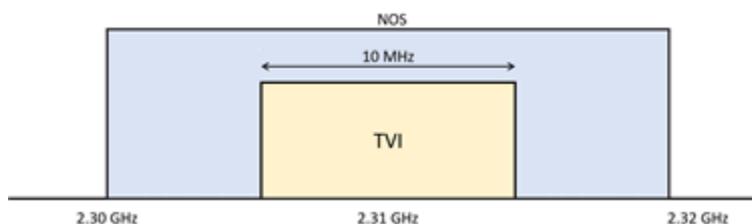


Figura 44 – Ocupação espectral usada no teste de atuação do *Warner* (configuração C1)

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

3.2.2.2 Configuração C2: dois sinais PMSE sobrepostos a um sinal LTE da NOS

Nesta combinação de canais, são usados dois sinais PMSE, ambos com uma largura de banda de 10 MHz, um deles centrado a 2,305 GHz e o outro a 2,315 GHz, sobrepostos a um sinal LTE da NOS, com 20 MHz de largura de banda, centrado a 2,31 GHz, de acordo com a representação gráfica da Figura 45.

Esta alocação espectral dos canais dos vários sistemas visa testar as capacidades de deteção de sinais LTE por parte do *Warner*, perante uma situação em que os sinais PMSE estão totalmente contidos na faixa de frequências do sinal LTE, devendo o *Warner*, nessas circunstâncias, desencadear a correspondente desativação da estação LTE, através do controlador LSA.

Neste caso, e fazendo variar os níveis de potência dos sinais PMSE e a sua localização relativamente à estação de base LTE, é possível avaliar condições de saturação dos recetores e a interferência entre os sinais LTE e PMSE.

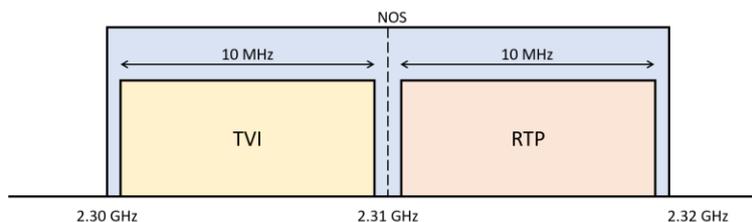


Figura 45 – Ocupação espectral usada na configuração C2.

3.2.2.3 Configuração C3: dois sinais PMSE sobrepostos a um sinal LTE da MEO

Esta configuração de canais é semelhante à anterior, embora com frequências diferentes. São usados dois sinais PMSE, ambos com uma largura de banda de 10 MHz, um deles centrado a 2,345 GHz e o outro a 2,355 GHz, sobrepostos a um sinal LTE da MEO, com 20 MHz de largura de banda, centrado a 2,35 GHz, conforme esquematizado na Figura 46.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Este arranjo espectral dos canais dos vários sistemas destina-se a testar a capacidade de receção do *Warner*, nomeadamente, o seu limiar de sensibilidade, perante sinais LTE fracos. Também neste caso os sinais PMSE estão totalmente contidos na faixa de frequências do sinal LTE.

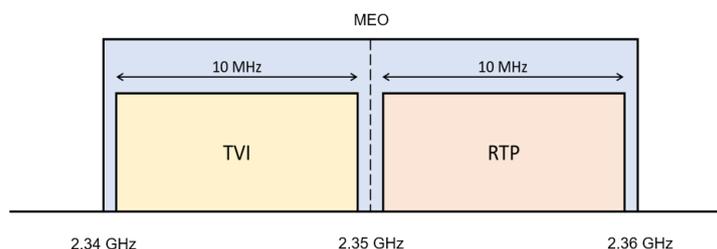


Figura 46 – Ocupação espectral usada na configuração C3.

3.2.2.4 Configuração C4: sinal PMSE semi-sobreposto a um sinal LTE da NOS

A configuração C4 considera apenas um sinal PMSE, com 10 MHz de largura de banda, centrado na frequência 2,32 GHz, semi-sobreposto a um sinal LTE, com 20 MHz, centrado em 2,31 GHz, conforme ilustrado na Figura 47.

Com esta configuração foram testadas as capacidades de deteção de sinais LTE por parte do *Warner*, numa situação em que o sinal PMSE está parcialmente sobreposto ao sinal LTE. Neste caso, e após receber a informação do *Warner*, o controlador LSA deverá atuar sobre a estação LTE, desativando-a.

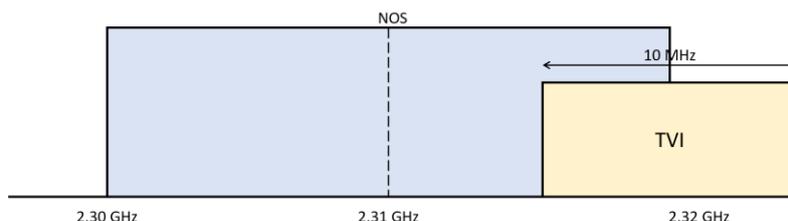


Figura 47 - Ocupação espectral usada na configuração C4.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

3.2.3 PLANO DE TESTES

O plano de testes que foi idealizado para este piloto teve por base todos os pressupostos acabados de apresentar assim como os cenários e condições de teste definidas. Basicamente, são considerados dois tipos de testes:

- 1. Funcionais (Teste 1):** como prova do conceito global associado ao modelo de partilha de espectro LSA, quando materializado numa rede física real, ainda que concebida meramente para testes, e perante utilizações de espectro plausíveis na faixa 2,3 – 2,4 GHz. Pretendeu-se, desta forma, avaliar a resposta efetiva e a reação da rede de modo a viabilizar a operação do PMSE, quando solicitada.
- 2. De desempenho (Testes 2 a 7):** perante interferência entre sistemas, com sinais com diferentes características e parâmetros técnicos, testes de degradação da qualidade de serviço, etc.

A Tabela 6 resume a bateria de testes que foi desenhada para o Piloto LSA português.

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
1	C1	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Funcionamento global do sistema de controlo LSA
2	C2	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] inferiores ao do LTE [NOS]
3	C2	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Nível de potência recebida do sinal PMSE [RTP] inferior ao do LTE [NOS] Nível de potência recebida do sinal PMSE [TVI] semelhante ao do LTE [NOS]
4	C2	Z1	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] superiores ao do LTE [NOS]
5	C2	Z3	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] inferiores ao do LTE [NOS] Nível de potência recebida do sinal do PMSE da TVI superior ao da RTP, mas ligeiramente inferior ao do LTE
6	C3	Z5	Z5	Site MEO	Z5	Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente exterior Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] superiores ao do LTE [MEO]
7	C4	Indoor Z4	Indoor Z4	NOS Z3 (direc.)	Indoor Z4	Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente interior Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] superiores ao do LTE [NOS]

Tabela 6 – Síntese da bateria de testes desenhada para o Piloto LSA português.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Nas secções subsequentes serão detalhados os cenários de testes preparados e a condições a eles associadas.

3.2.3.1 *Teste funcional ao controlo da rede móvel desencadeado pelo Warner*

Do ponto de vista funcional, é fundamental confirmar o correto funcionamento do *Warner*, incluindo todo o procedimento de deteção de sinais LTE e correspondente desativação da(s) estação(ões) de base do operador móvel, o que equivale, na prática, a verificar a funcionalidade do sistema desenvolvido como um todo (Teste 1 da Tabela 6).

Para o efeito, definiu-se o seguinte procedimento sequencial:

- O sinal PMSE é transmitido de acordo com o arranjo de frequências da configuração C1;
- O *Warner* deverá detetar o sinal LTE ativo;
- O *Warner* estabelecerá comunicação com o Controlador LSA;
- A estação LTE deverá ser desativada.

Para além de se ter verificado se cada um dos passos era realizado com sucesso, registou-se o tempo de duração de todo o procedimento, determinando-se, dessa forma, o tempo de atuação do *Warner* sobre a estação LTE da NOS, desde o momento em que o sinal PMSE é ativado.

Em sentido inverso, foi também determinado o tempo de restabelecimento do serviço na rede móvel, após o *Warner* ter sido desativado. Esta ação corresponde a sinalizar ao Controlador LSA que o operador PMSE já não pretende continuar a usar o espectro partilhado. Para tal, considerou-se a seguinte sequência de operações:

- O *Warner* estabelecerá comunicação com o Controlador LSA;
- A estação LTE deverá ser reativada.

3.2.3.2 Testes de Desempenho ao Sistema LSA

Para uma adequada caracterização do desempenho do sistema LSA, foi preparado o conjunto de Testes de 2 a 7 (Tabela 6), que visa avaliar cada componente do sistema perante condições adversas de operação. Com várias combinações e padrões de sobreposição de sinais PMSE e LTE, e com diferentes níveis de potência de emissão, foram testadas condições extremas de operação, perante as quais o *Warner* e os sistemas PMSE e LTE deverão reagir adequadamente e atuar. Aqui, assume particular acuidade o funcionamento, sob tais condições, do *Warner*, que deverá atuar através do controlador LSA sobre a rede móvel LTE. Pretende-se, desta forma, delimitar as condições de fronteira a partir das quais o sistema LSA sofre um grau de degradação tal do seu desempenho que inviabiliza a sua normal operação.

4 RESULTADOS

Apresentam-se em seguida os resultados dos testes incluídos no plano definido, realizados nos dias 28 e 29 de janeiro de 2019. Sempre que possível, foram exploradas condições extremas de desempenho e operação, de modo a perceber os limites do sistema concebido para testes e prescrever eventuais medidas de melhoria e ajustes numa possível futura implementação real do modelo LSA em Portugal.

Cada uma das secções subsequentes aborda cada um dos testes realizados.

4.1 TESTE FUNCIONAL AO SISTEMA LSA

Este teste visa, em termos conceptuais, verificar a viabilidade de implementação do modelo desenvolvido, adaptado à atual utilização da faixa 2,3 – 2,4 GHz em Portugal, tendo por base a abordagem definida no âmbito deste piloto, que considerou o desenvolvimento de um dispositivo avisador (*Warner LSA*) que deverá atuar em perfeita harmonia com o controlador LSA e garantir o necessário controlo da rede móvel LTE, permitindo a operação dos sistemas PMSE licenciados, sempre que desejado.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.1.1 TESTE 1: FUNCIONAMENTO GLOBAL DO SISTEMA DE CONTROLO LSA

Para cada um dos testes serão detalhadas as condições sob as quais decorreram os ensaios no terreno, registos relevantes e síntese de resultados.

4.1.1.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
1	C1	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Funcionamento global do sistema de controlo LSA

Tabela 7 – Teste 1: condições de teste.

Para a realização do Teste 1, o *Warner* foi posicionado de forma a estar dentro da área de abrangência, em termos de cobertura radioelétrica, do eNode-B da NOS, por ser o único, no âmbito deste piloto, em condições de poder ser controlado pelo sistema de gestão e controlo LSA. Pretendeu-se, assim, confirmar a correta e expectável resposta da rede móvel, perante um pedido de utilização do mesmo espectro por parte do PMSE incumbente. Conforme evidenciado na Figura 48, este eNode-B foi instalado nas imediações da subzona Z3, numa estrutura de suporte transportável (tripé), a uma altura de cerca de 2,00 m, o que lhe conferia uma área de cobertura limitada, razão pela qual se procurou ter o *Warner* em linha de vista desobstruída, com esta estação de base LTE, para garantir que o dispositivo de aviso e sinalização estava sob o seu alcance.

Apesar de não ser o cenário habitual, foi, neste caso, criada uma situação particularmente adversa em que, não só o eNode-B LTE estava em operação, como também o PMSE se encontrava em emissão, interferindo-se mutuamente. Aqui, a intenção foi sujeitar o *Warner* a uma sobreposição de sinais (LTE e PMSE) para avaliar a sua capacidade de, ainda assim, discriminar o sinal LTE do eNode-B a desligar, caso o utilizador PMSE manifestasse, através da ativação do *Warner*, a sua intenção de utilizar o mesmo espectro, por exemplo, para uma reportagem televisiva no local. Numa situação normal, o sinal PMSE só seria emitido após o *Warner* ter sido acionado e o respetivo sinal LTE da rede móvel ter sido desativado, tendo havido atuação do controlador LSA. Em complemento ao cenário aqui desenhado, também o eNode-B da

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

MEO se encontrava em emissão, na frequência 2,35 GHz, em modo *stand alone*, não controlado pelo sistema central de gestão de rede LSA.



Figura 48 – Estrutura de suporte do eNode-B controlável pelo sistema de gestão e controlo LSA.

Em termos de disposição espacial (Figura 49), o Teste 1 decorreu com o Warner (Figura 50) e o recetor do sistema de videolink PMSE (Figura 51) na subzona Z1, com o respetivo transmissor PMSE (Figura 52) na subzona Z2 e o eNode-B da NOS (Figura 48), como já referido, no exterior junto ao edifício do IT, nas imediações da zona Z3.

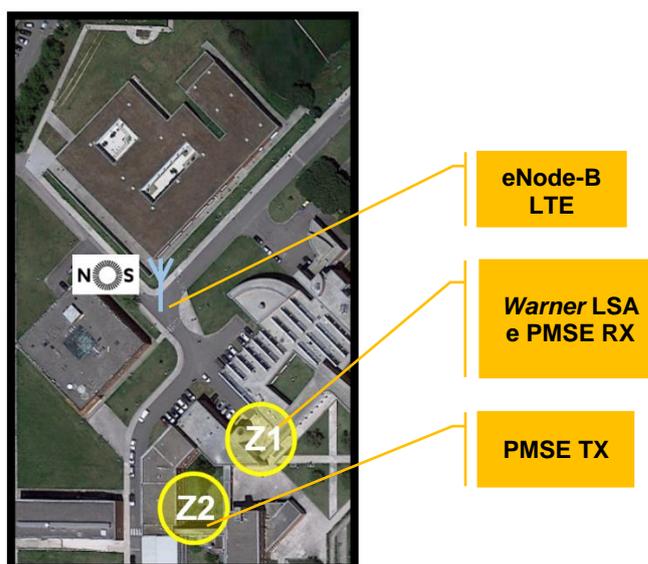


Figura 49 – Testes 1 a 3: disposição espacial dos sistemas em teste.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal



Figura 50 – Teste 1: Dispositivo de aviso e sinalização LSA (Warner).



Figura 51 – Teste 1: Receção do sistema de *videolink* PMSE e respetivos equipamentos de monitorização.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal



Figura 52 – Teste 1: Transmissor do sistema de *videolink* PMSE.

4.1.1.2 Registos espectrais e de mensagens de controlo protocolar

Nas condições de teste especificadas, procedeu-se ao registo das utilizações espectrais na faixa de frequências a partilhar (Figura 53). No espectro de persistência e espectrograma é possível visualizar a sobreposição dos dois sinais LTE e PMSE, ativos, tendo sido desencadeado, nessas circunstâncias, o acionamento do *Warner*.

De modo a documentar os procedimentos do *Warner* e sequência de comandos, são reproduzidas, na Figura 54, as mensagens de controlo protocolar entre o *Warner* e o controlador LSA. As primeiras mensagens trocadas correspondem ao registo do *Warner* no repositório, que dá início ao processo de sinalização da intenção de utilização do espectro pelo operador PMSE incumbente, seguindo-se mensagens de reporte de ocupação da faixa de frequências a partilhar.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

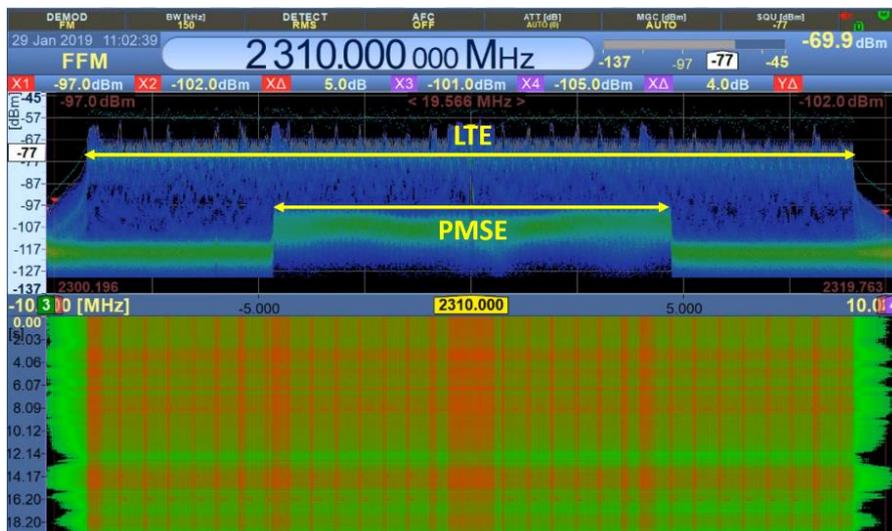


Figura 53 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 1.

```

11:02:18 29-01-2019: ProtocolVersion = Response JSON: {"syncWarnings": []}
11:02:38 29-01-2019: ProtocolVersion = Response JSON: {"syncWarnings": []}
11:02:59 29-01-2019: ProtocolVersion = Response JSON: {"syncWarnings": []}
11:03:00 29-01-2019: LSA_Portugal_ProtocolProcessV12 =
  {"sensorRegistrationRequest": [
    {"sensorName": "Warner1",
     "sensorType": "Warner",
     "installationParam":
      {"latitude": 0,
       "longitude": 0,
       "height": 0,
       "heightType": "AGL",
       "indoorDeployment": false}}]}

11:03:00 29-01-2019: ProtocolVersion = Response JSON:
{"sensorRegistrationResponse": [
  {"sensorId": "50505538-0C2A-484A-8FB0-33634262B424",
   "response": {
     "responseCode": 0,
     "responseMessage": "SUCCESS",
     "responseData": {
       "sensorName": "Warner1"}}}}]}

11:03:00 29-01-2019: LSA_Portugal_ProtocolProcessV12 =
  {"sensorReportRequest": [
    {"sensorId": "50505538-0C2A-484A-8FB0-33634262B424",
     "measReport": {
       "rcvdPowerMeasReports": [
         {"nodeName": "90",
          "measFrequency": 2350000000,
          "measBandwidth": 2000000,
          "measRcvdPower": -84.3},

         {"nodeName": "90",
          "measFrequency": 2310000000,
          "measBandwidth": 2000000,
          "measRcvdPower": -56.73}}]}]}
    
```

Figura 54 - Mensagens de controlo protocolar entre o Warner e o Controlador LSA.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.1.1.3 Síntese de Resultados

Como principais resultados do Teste 1, destacam-se os seguintes:

- O sistema apresentou uma **comunicação estável** entre o Warner e controlador/repositório LSA.
- **O Warner detetou com sucesso a presença do sinal LTE** emitido pelo eNode-B da NOS, mesmo com a sobreposição do sinal de vídeo digital do sistema PMSE.
- **O controlador LSA conseguiu, também com sucesso, desativar o sinal LTE** transmitido pelo eNode-B, para que o sistema PMSE pudesse utilizar o mesmo espectro partilhado.
- Durante todo o processo de deteção do sinal LTE e inativação da respetiva estação de base LTE foram registados os tempos associados aos processos em curso, obtendo-se, no cômputo global, desde que o Warner detetou o sinal LTE até que a estação base tivesse sido efetivamente desligada, um **período de reação da rede notavelmente rápido**, de aproximadamente **50 segundos**. Ora, este seria o lapso de tempo que o operador PMSE teria de aguardar entre a ativação do Warner e a libertação do espectro, inicialmente usado pela rede móvel LTE, para poder começar a operar o seu sistema PMSE. Este período de espera é também designado por tempo de evacuação da rede móvel.
- Em seguida, determinou-se a duração do procedimento complementar ao anterior, ou seja, de restabelecimento da rede móvel LTE, após o Warner ter sinalizado que o PMSE já não pretendia continuar a usar o mesmo espectro partilhado. Para tal, foi desativado o Warner para que, deste modo, o controlador LSA desse ordem de reativação da emissão LTE do eNode-B da NOS. Neste caso, obteve-se um tempo de restabelecimento compatível e da mesma ordem de grandeza do que foi obtido para a evacuação da rede móvel, tendo sido necessário aguardar cerca de **50 segundos**, para que o sinal LTE passasse a estar novamente disponível.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- Ainda que este não tenha sido um aspeto central do Teste 1, foi possível verificar que o *Warner* foi capaz de identificar o sinal LTE correspondente à emissão do eNode-B da MEO, que se encontrava a transmitir na frequência 2,35GHz. Não obstante, essa ocorrência foi igualmente reportada ao controlador LSA. Este aspeto é realçado nas mensagens de reporte (Figura 54), com a identificação das duas frequências onde os sinais LTE-TDD se encontravam a ser emitidos. Um deles centrado nos 2,31 GHz (NOS) e outro nos 2,35 GHz (MEO). No entanto, por não haver capacidade para atuar sobre o eNode-B da MEO, em virtude de se encontrar em modo de operação *stand alone*, o sinal LTE proveniente desta estação continuou a ser emitido.

4.2 TESTES DE DESEMPENHO AO SISTEMA LSA

Os testes de desempenho visam delimitar os limiares de desempenho do sistema LSA concebido para a realidade portuguesa. Neste âmbito, são considerados todos os subsistemas envolvidos, nomeadamente *Warner* LSA, sistemas PMSE e rede móvel LTE.

4.2.1 TESTE 2: TESTE DE COMPATIBILIDADE ENTRE SINAIS PMSE E LTE

Neste cenário, foram colocados em emissão simultânea dois sinais PMSE e o sinal LTE-TDD do eNode-B da NOS, avaliando-se o comportamento da ligação de vídeo na presença do sinal LTE, assim como a capacidade da rede móvel continuar a prestar serviço na presença dos sinais de vídeo digitais. Sob estas condições adversas de operação para ambos os sistemas, foi testada a capacidade do *Warner* atuar numa situação como esta.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.1.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
2	C2	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] inferiores ao do LTE [NOS]

Tabela 8 – Teste 2: condições de teste.

Neste teste, foram mantidas as localizações para todos os sistemas (Figura 49), mas na configuração de frequências C2 (Figura 45), que considera dois sinais PMSE sobrepostos ao sinal LTE (NOS), ajustando-se os níveis de potência emitida pelos dois transmissores PMSE, de modo que, junto ao Warner, onde também se estavam a realizar medições espectrais com o recetor marca R&S, modelo EB500, os níveis de potência recebida, neste analisador, correspondentes aos sinais PMSE, fossem inferiores ao nível de potência do sinal LTE ali recebido.

4.2.1.2 Registos espectrais

O balanço de potências estabelecido entre os diferentes sinais é evidenciado no espectro persistente e espectrograma da Figura 55.

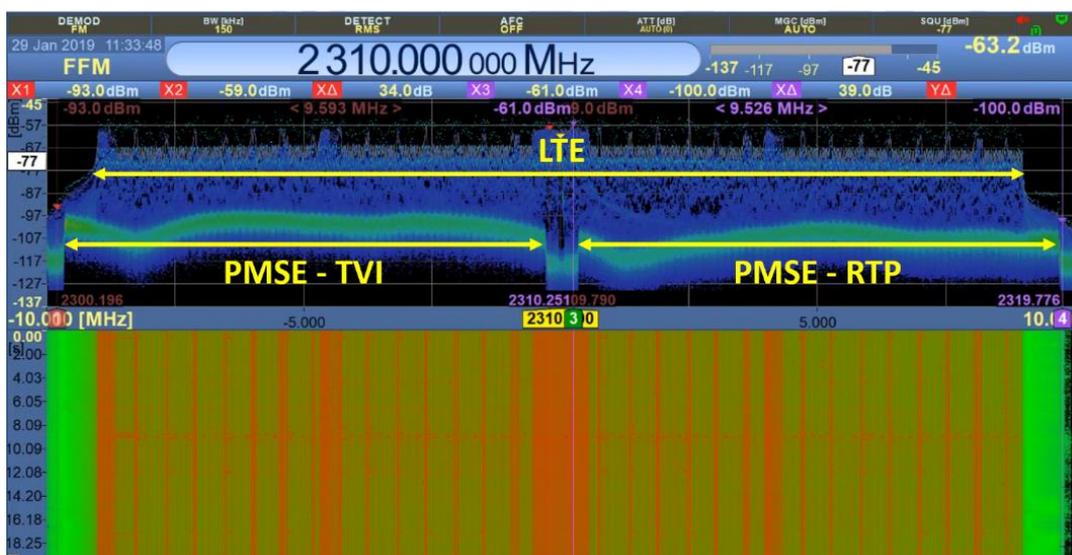


Figura 55 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 2.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

O espectrograma da Figura 56 reflete o momento de transição em que o controlador LSA atua sobre o eNode-B LTE, desligando-o, na sequência da comunicação do Warner, que sinalizou que o operador PMSE pretendia utilizar o espectro. A partir dessa altura, ficam apenas os sinais PMSE de ambos os operadores de televisão.

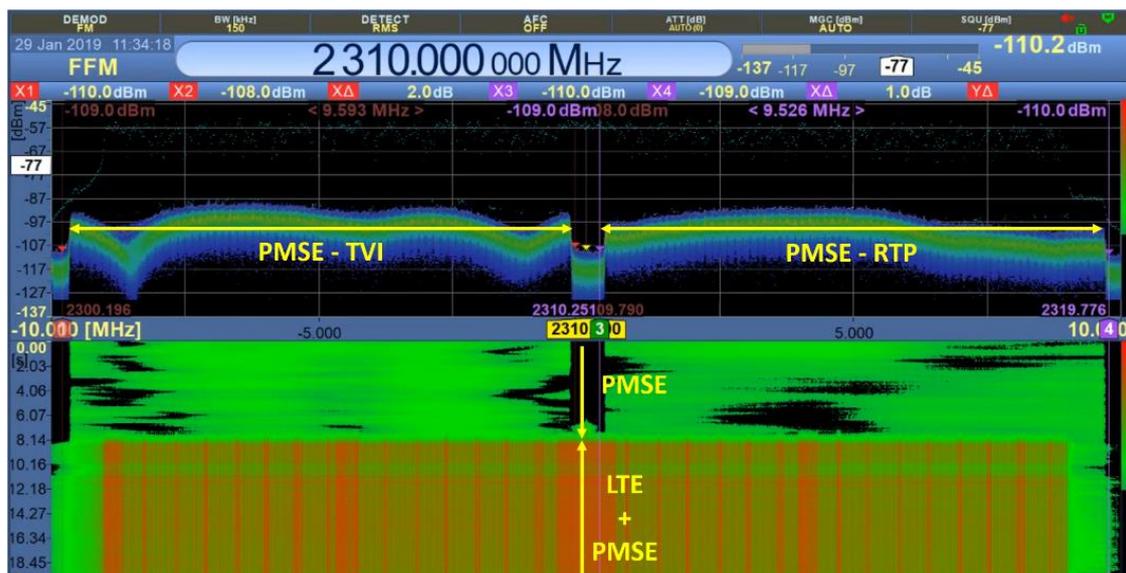


Figura 56 – Registo espectral: momento em que o eNode-B LTE é desligado.

4.2.1.3 Síntese de Resultados

Com a realização deste teste, obtiveram-se as seguintes evidências:

- Na presença do sinal de *downlink* LTE, os sinais de vídeo PMSE foram fortemente interferidos, não tendo sido possível estabelecer as ligações de vídeo, de nenhum dos dois operadores, com o mínimo de qualidade aceitável para uma transmissão.
- As comunicações móveis entre o eNode-B e o equipamento terminal de utilizador decorreram sem interrupções, mesmo na presença dos sinais PMSE.
- O Warner conseguiu detetar, com sucesso, o sinal LTE, mesmo com os dois sinais PMSE sobrepostos, tendo o controlador LSA desligado, em consequência disso, a estação base LTE.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- Assim que que o sinal LTE foi desligado, ambas as ligações de vídeo PMSE foram estabelecidas sem quaisquer problemas.

4.2.2 TESTE 3: TESTE DE COMPATIBILIDADE ENTRE SINAIS PMSE E LTE

Este teste é, em tudo, semelhante ao anterior, procedendo-se apenas ao ajuste de potência de um dos sinais PMSE, o da TVI, configurando-o para a sua potência máxima de emissão, obtendo-se, junto ao Warner e ao equipamento de medição utilizado (R&S, EB500), um nível de potência recebida semelhante ao do sinal LTE.

4.2.2.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
3	C2	Z2	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Nível de potência recebida do sinal PMSE [RTP] inferior ao do LTE [NOS] Nível de potência recebida do sinal PMSE [TVI] semelhante ao do LTE [NOS]

Tabela 9 – Teste 3: condições de teste.

Mais uma vez, foram mantidas as localizações de todos os sistemas (**Error! Reference source not found.**) e a canalização correspondente ao arranjo de frequências C2 (Figura 45), com os dois sinais PMSE sobrepostos ao sinal LTE (NOS). Após ajuste de potência, no equipamento PMSE da TVI, para o nível máximo suportado, foi repetido o teste anterior.

4.2.2.2 Registos espectrais

O espectro de persistência e o espectrograma da Figura 57 ilustram o balanço de potências estabelecido na receção, junto ao Warner, para os sinais utilizados.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

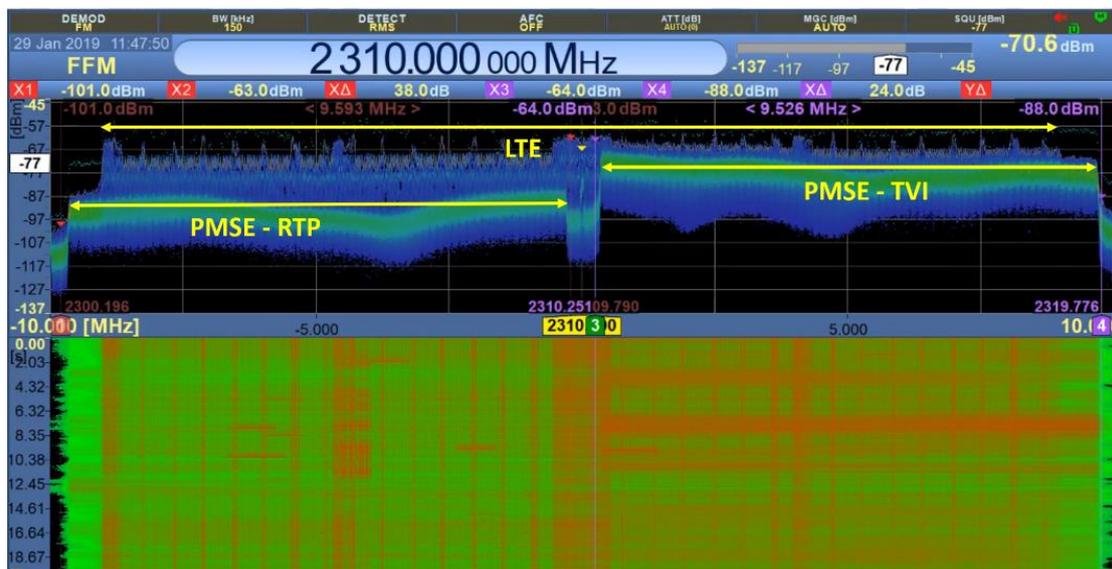


Figura 57 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 3.

4.2.2.3 Síntese de Resultados

Os resultados, aqui alcançados, traduzem as seguintes evidências:

- Mantiveram-se as dificuldades em estabelecer ambas as ligações de vídeo, mesmo com o equipamento PMSE da TVI a emitir à sua máxima potência.
- Do ponto de vista da comunicação entre o eNode-B e o terminal móvel do utilizador, não se verificaram interrupções do serviço, mesmo após o aumento de potência de um dos equipamentos PMSE.
- O Warner voltou a reagir adequadamente, mesmo num ambiente um pouco mais adverso em termos de interferência, tendo o controlador LSA atuado de forma a suprimir o sinal LTE. A partir desse momento, foi possível restabelecer as ligações de vídeo de ambos os operadores PMSE, sem mais constrangimentos.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.3 TESTE 4: TESTE DE COMPATIBILIDADE ENTRE SINAIS PMSE E LTE

Continuando a ter como objetivo a avaliação da compatibilidade entre os sinais PMSE e LTE, criaram-se agora condições mais adversas para o sistema LTE e para o próprio Warner, de modo a caracterizar o seu comportamento em situações extremas de interferência.

4.2.3.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
4	C2	Z1	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVf] superiores ao do LTE [NOS]

Tabela 10 – Teste 4: condições de teste.

No tocante à disposição espacial (Figura 58), o Warner e os emissores e recetores dos sistemas de videolink PMSE foram posicionados, todos eles muito próximos uns dos outros, na subzona Z1, tendo o eNode-B da NOS permanecido junto ao edifício do IT, nas imediações da zona Z3.

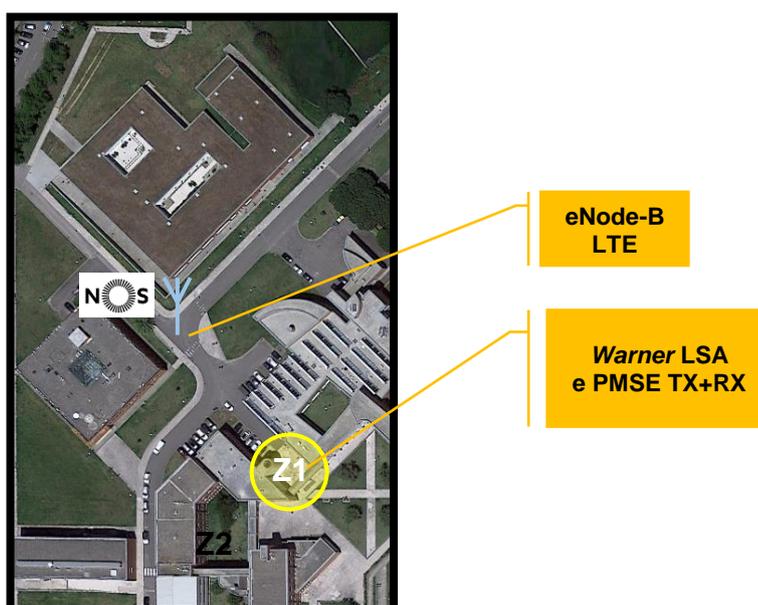


Figura 58 – Teste 4: disposição espacial dos sistemas em teste.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Nestes testes, foi mantida a configuração de canais C2, ajustando-se o posicionamento dos equipamentos de emissão PMSE, na subzona Z1, onde também se encontrava o Warner, de modo que, nestas condições, os níveis de sinal de PMSE, ali recebidos, fossem superiores ao nível do sinal LTE que o eNode-B lá colocava, tornando mais difícil a tarefa do Warner na deteção do sinal LTE, fortemente interferido pelas emissões de PMSE.

4.2.3.2 Registos espectrais

O espectro de persistência e o espectrograma da Figura 59 reflete o balanço de potências, na receção, anteriormente referido, verificando-se que os níveis de potência dos dois sistemas PMSE, devido à proximidade dos transmissores ao equipamento de medição (R&S, EB500) e ao Warner, apresentam uma magnitude superior à do sinal LTE, tornando-o quase impercetível. O equipamento da TVI continuou a emitir à sua máxima potência, o que também transparece da mesma figura.

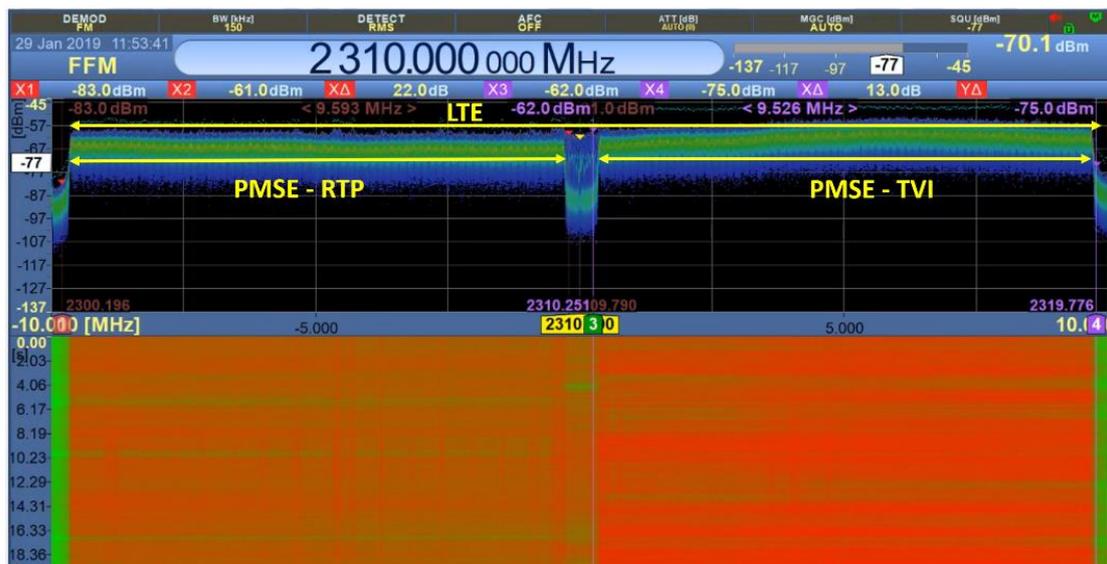


Figura 59 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 4.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.3.3 Síntese de Resultados

As constatações mais evidentes que se retiraram deste teste foram as seguintes:

- Devido à proximidade do emissor e recetor do sistema PMSE da RTP, foi possível estabelecer uma ligação de vídeo com qualidade aceitável. Ainda assim, esta não é uma situação plausível em termos operacionais, dado que, numa situação real, em contexto de reportagem, existirá sempre um maior distanciamento entre o emissor e o recetor.
- No caso do sistema PMSE da TVI, a emitir à sua máxima potência, não foi possível estabelecer a ligação de vídeo devido à saturação do recetor, por efeito de proximidade ao seu emissor.
- A comunicação entre o eNode-B e o terminal móvel do utilizador foi possível, sem interrupções do serviço, desde que este último não se encontrasse numa vizinhança próxima dos emissores de PMSE.
- O ambiente de interferência adverso que foi criado junto ao *Warner*, com a sobreposição vincada dos dois canais em uso pelos emissores PMSE ao sinal LTE, não inibiu a capacidade do *Warner* detetar o sinal da rede móvel, que estava a ser transmitido, desencadeando, com sucesso, a ação do controlador LSA que procedeu ao desligamento do eNode-B LTE.

4.2.4 TESTE 5: TESTE DE COMPATIBILIDADE ENTRE SINAIS PMSE E LTE

O cenário de teste, aqui criado, considera os emissores de PMSE posicionados junto ao eNode-B LTE, mantendo os recetores PMSE e *Warner* na localização anterior. Com esta disposição, pretende-se avaliar o impacto da proximidade das emissões PMSE no funcionamento do eNode-B LTE e, em sentido inverso, se a emissão LTE afeta as ligações de vídeo PMSE.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.4.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
5	C2	Z3	Z1	NOS Z3	Z1	Teste de compatibilidade entre sinais PMSE e LTE Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] inferiores ao do LTE [NOS] Nível de potência recebida do sinal do PMSE da TVI superior ao da RTP, mas ligeiramente inferior ao do LTE

Tabela 11 – Teste 5: condições de teste.

Na disposição espacial (Figura 60) concebida para este teste, o Warner e os recetores dos sistemas de videolink PMSE mantiveram-se posicionados na subzona Z1, ao passo que os emissores PMSE foram colocados nas imediações da zona Z3, junto ao eNode-B da NOS, que permaneceu na sua localização habitual, adjacente ao edifício do IT, conforme ilustrado na Figura 61. Foi mantida a configuração de canais radioelétricos C2 e, junto ao recetor de medidas (R&S, EB500), onde também se encontrava o Warner e os recetores PMSE, os níveis de sinal PMSE recebidos eram inferiores ao nível do sinal LTE que ali chegava, com o PMSE da TVI a apresentar um nível de potência recebida ligeiramente superior ao da RTP.

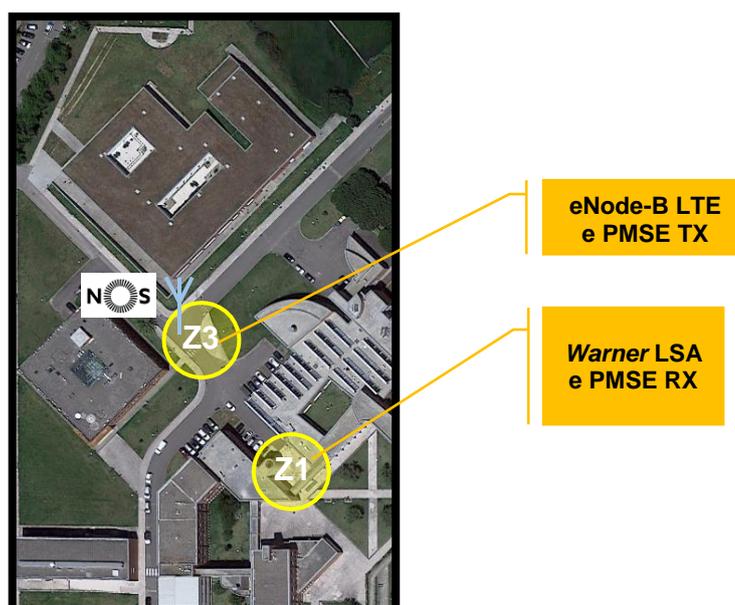


Figura 60 - Teste 5: disposição espacial dos sistemas em teste.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal



Figura 61 – Posicionamento do emissor PMSE junto ao eNode-B LTE, na subzona Z3.

4.2.4.2 Registos espectrais

O espectro de persistência e o espectrograma da Figura 62 espelha o balanço de potências estabelecido na receção, junto ao Warner, para os sinais utilizados.

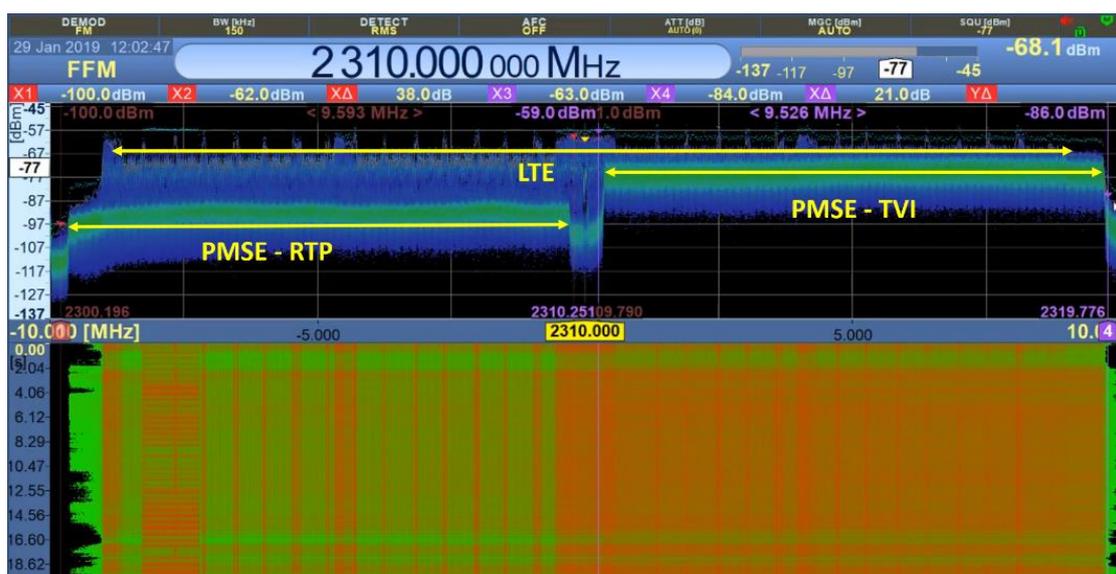


Figura 62 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 5.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

4.2.4.3 Síntese de Resultados

Como principais evidências recolhidas neste teste destacam-se as seguintes:

- Não foi possível estabelecer ligações de vídeo na presença do sinal LTE.
- Não foi possível estabelecer uma comunicação estável e ininterrupta entre o eNode-B e o terminal móvel do utilizador, pelo facto dos emissores PMSE se encontrarem muito próximos da estação de base LTE, provocando a saturação do *front-end* de receção do eNode-B.
- O Warner detetou o sinal LTE, informando o controlador LSA para atuar sobre o eNode-B, de modo a desligar o sinal LTE. A partir desse momento, as ligações de vídeo PMSE foram restabelecidas, sem quaisquer constrangimentos.

4.2.5 TESTE 6: TESTE À CAPACIDADE DE DETEÇÃO DO WARNER EM AMBIENTE EXTERIOR

Este teste foi concebido para avaliar a capacidade de receção do Warner, ou seja, o seu limiar de sensibilidade, escolhendo-se uma localização alternativa às anteriores, de modo a ficar sob a área de influência do eNode-B da MEO, mas no limite da sua cobertura, já a uma certa distância.

4.2.5.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
6	C3	Z5	Z5	Site MEO	Z5	Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente exterior Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] superiores ao do LTE [MEO]

Tabela 12 – Teste 6: condições de teste.

No que diz respeito à espacial (Figura 58), o Warner e os emissores e recetores dos sistemas de *videolink* PMSE foram posicionados, todos eles muito próximos uns dos outros, na subzona Z5, junto à Reitoria, no topo mais distante do edifício relativamente à estação de base da MEO, e sem linha de vista desobstruída.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

Foi usada a configuração de canais C3 (Figura 46), em que os dois sinais PMSE estão sobrepostos ao sinal LTE emitido pelo eNode-B da MEO. Não sendo, neste caso, possível interagir com este eNode-B, testou-se apenas a capacidade de deteção daquele sinal LTE, por parte do *Warner*.

Para complementar esta avaliação, e já sem os sinais PMSE ativos, foi ainda tentada a receção, àquela distância, do sinal LTE proveniente do eNode-B da NOS, que permaneceu ativo no local habitual, junto ao IT.



Figura 63 – Teste 6: disposição espacial dos sistemas em teste.

4.2.5.2 Registos espectrais

O espectro de persistência e o espectrograma da Figura 64 evidencia o balanço de potências estabelecido na receção, junto ao *Warner*, para os sinais utilizados, pode ser visualizado.

Já a Figura 65 apresenta o sinal LTE, emitido pelo eNode-B da MEO, recebido junto ao *Warner*, na subzona Z5.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

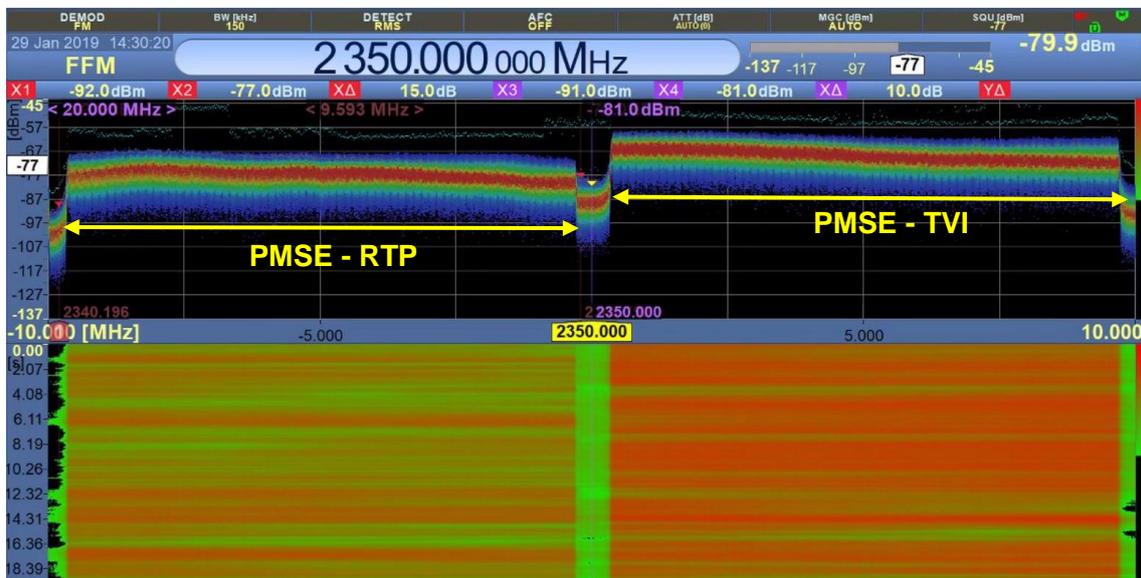


Figura 64 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 6.

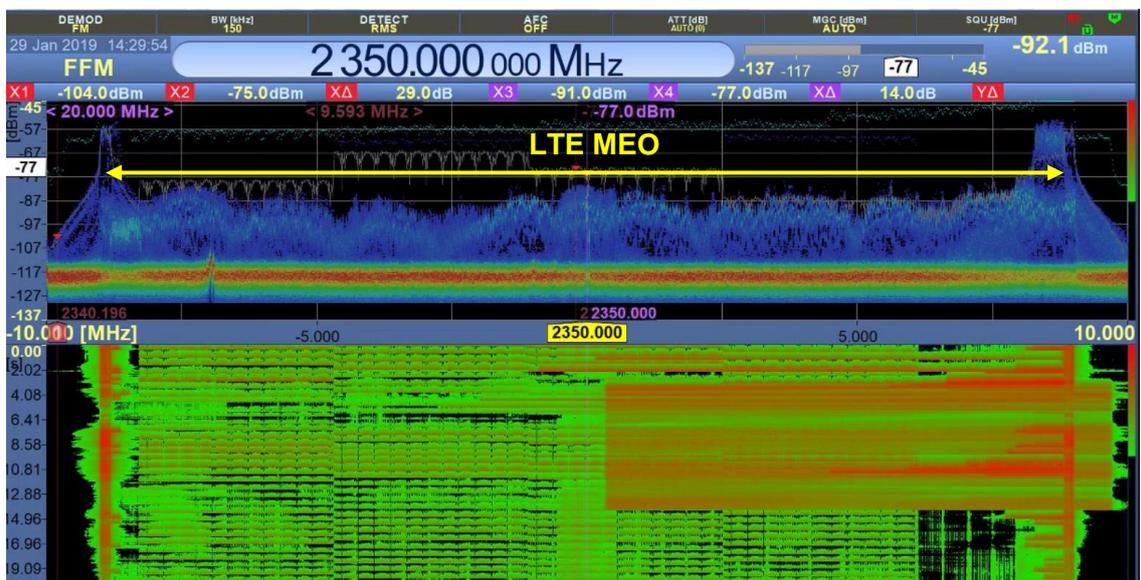


Figura 65 – Registo espectral: sinal LTE da MEO recebido, junto ao Warner, na subzona 5.

4.2.5.3 Síntese de Resultados

No cenário de teste assim concebido foram registadas as seguintes evidências:

- Sem os sistemas de emissão PMSE ativos na sua proximidade, o *Warner* foi capaz de detetar o sinal LTE do eNode-B da MEO, no entanto, sem capacidade de o controlar, devido à inexistência de conectividade desta estação de base com o controlador LSA usado nos testes.
- Nas mesmas condições, o *Warner* não conseguiu detetar o sinal LTE da NOS, em virtude do nível de potência desse sinal se encontrar abaixo do limiar sensibilidade do *Warner*, fazendo-se notar que o eNode-B da NOS estava já distante do local onde, então, decorriam os testes, sem linha de vista desobstruída.
- Verificou-se, assim, que o *Warner* é incapaz de detetar sinais LTE com níveis de potência recebida abaixo de **-90dBm**, sendo este o seu limiar de sensibilidade.
- Com os transmissores PMSE **em emissão** junto ao *Warner*, dada a proximidade entre sistemas, os níveis dos sinais PMSE recebidos pelo *Warner* eram demasiado elevados face aos sinais LTE recebidos. Consequentemente, e nestas circunstâncias em particular, o *Warner* não foi capaz de detetar o sinal LTE de nenhum dos eNode-B's (MEO e NOS).

4.2.6 TESTE 7: TESTE À CAPACIDADE DE DETEÇÃO DO WARNER EM AMBIENTE INTERIOR

Por fim, foi criado um cenário de teste em ambiente interior, para avaliar a capacidade de deteção do *Warner* dentro de um edifício, mantendo-se o eNode-B LTE no exterior, mas de forma a que o diagrama de radiação da sua antena ficasse apontado a esse mesmo edifício.

4.2.6.1 Condições de teste

Teste #	Config. Freq.	Subzona				Descrição do Teste
		PMSE TX	PMSE RX	eNode-B LTE	Warner LSA	
7	C4	Indoor Z4	Indoor Z4	NOS Z3 (direc.)	Indoor Z4	Teste à capacidade de deteção do Warner em ambiente interior Níveis de potência recebida de ambos os sinais PMSE [RTP e TVI] superiores ao do LTE [NOS]

Tabela 13 – Teste 7: condições de teste.

Estes testes realizaram-se dentro do pavilhão do grupo de *Intelligent Robotics and Systems (IRIS-Lab)*, contíguo ao edifício do Instituto de Telecomunicações, na subzona Z4. O eNode-B da NOS, embora permanecendo no mesmo local, junto à subzona Z3, a sua antena foi direcionada para o pavilhão. Os transmissores e recetores dos sistemas PMSE foram instalados dentro do edifício.

A Figura 66 situa, no espaço, o posicionamento dos diversos sistemas testados.

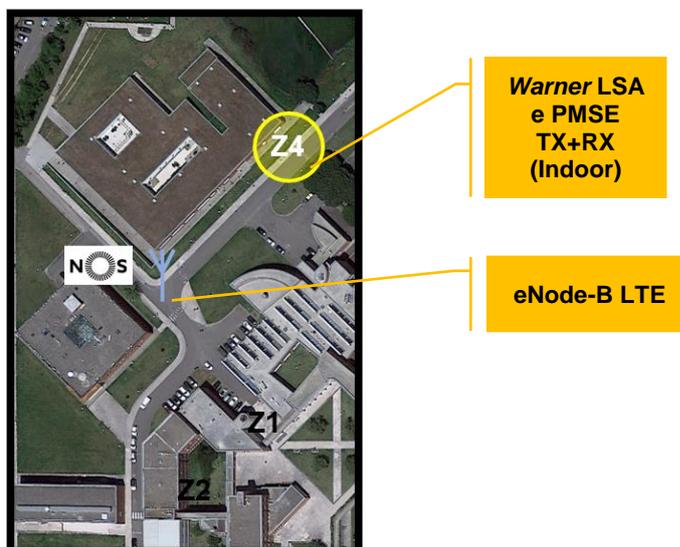


Figura 66 – Teste 7: disposição espacial dos sistemas em teste.

O sinal PMSE foi emitido à frequência 2,32 GHz, de modo a que, apenas parte deste, se sobrepusesse ao sinal LTE, seguindo o preceituado na configuração C4, e cujo

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

espectro resultante é mostrado na Figura 67, estando, neste caso, o eNode-B LTE relativamente perto.

Na configuração de canais C4 (Figura 47), apenas um sinal PMSE está semi-sobreposto ao sinal LTE emitido (a partir do exterior do edifício, pelo eNode-B da NOS).

4.2.6.2 Registos espectrais

O espectro de persistência e o espectrograma da Figura 67 traduz o balanço de potências estabelecido na receção, junto ao Warner, para os sinais utilizados, nas condições atrás descritas.

Em ambiente interior é notória a atenuação da potência do sinal LTE recebido, devido a perdas de penetração no edifício.

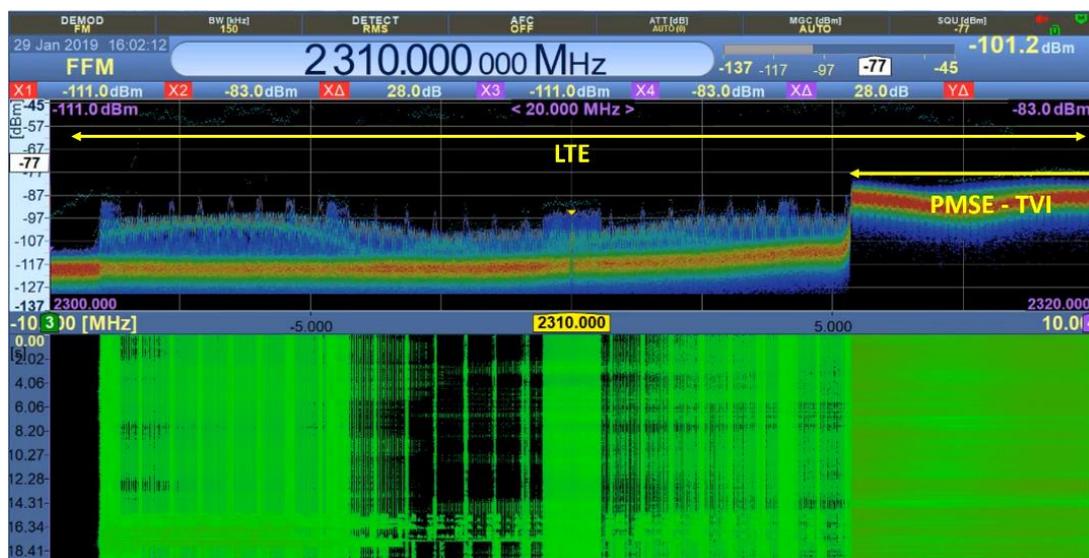


Figura 67 – Registo espectral: sobreposição dos sinais PMSE e LTE, usados no Teste 7.

O espectrograma da Figura 68 evidencia o momento de transição em que o controlador LSA atua sobre o eNode-B LTE, desligando-o. A partir daí, permanece ativo apenas o sinal PMSE da TVI.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

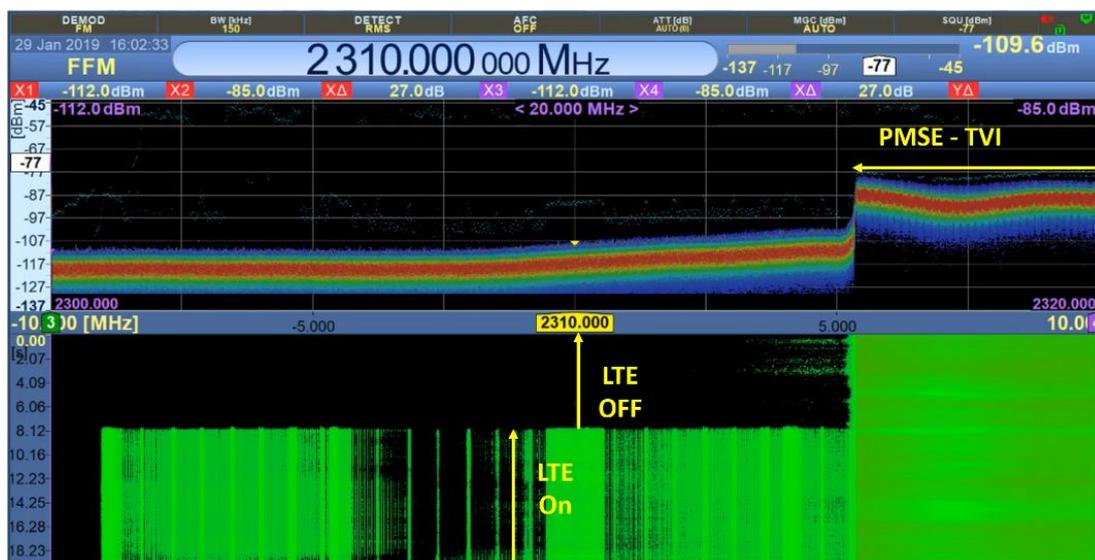


Figura 68 – Registo espectral: momento de atuação do controlador LSA no eNode-B.

4.2.6.3 Síntese de Resultados

Resultou, deste teste, evidente que:

- Nestas circunstâncias, a ligação de vídeo PMSE foi estabelecida em perfeitas condições, não tendo sido afetada pelo sinal LTE.
- As comunicações entre o eNode-B e o terminal móvel do utilizador decorreram com normalidade.
- O *Warner* conseguiu detetar com sucesso o sinal LTE tendo sido, conseqüentemente, garantida a desativação do eNode-B LTE, após atuação do do controlador LSA.
- Os tempos de atuação, no eNode-B (desativação e reativação), mantiveram-se idênticos aos obtidos nos testes anteriores, confirmando-se que **o sistema LSA consegue ligar e desligar a estação base em menos de 50 segundos.**

5 CONCLUSÕES

Com base nos testes realizados com a rede piloto, implementada em Portugal, foram extraídas as conclusões que a seguir se sistematizam.

- **Principais resultados:**

- O conceito LSA foi provado e o LSA *Warner* funcionou satisfatoriamente, permitindo a implementação das funcionalidades básicas que poderão viabilizar a introdução do modelo LSA, ajustado ao cenário de utilização do espectro na faixa dos 2,3 – 2,4 GHz em Portugal.
- O LSA *Warner* detetou sinais LTE TDD e acionou os mecanismos de controlo, atuando, conforme pretendido, sobre o eNode-B LTE;

- **Compatibilidade entre os sistemas em teste (PMSE e rede móvel):**

Os testes demonstraram que os sinais LTE TDD e PMSE (DVB-T e LMS-T) não são compatíveis, independentemente da largura de banda dos sinais;

- Os sinais PMSE bloquearam o sinal LTE de *uplink (UL)*, mesmo estando o *downlink (DL)* disponível, dificultando bastante, ou até impossibilitando, a disponibilização do serviço móvel.
- Os sinais LTE também degradaram a ligação de vídeo PMSE, dificultando, ou até impedindo, a coexistência de ambas as tecnologias em funcionamento simultâneo.
- Sempre que um recetor PMSE se encontrava em linha de vista desobstruída com o eNode-B, ou na sua vizinhança próxima, e a receber, desta forma, o sinal LTE de DL, a ligação de vídeo era afetada. Por outro lado, se o transmissor PMSE se encontrava próximo do eNode-B LTE, o serviço móvel era afetado, em virtude do recetor do eNode-B ficar bloqueado.
- Sempre que o sinal de DL LTE não era degradado, o *Warner* conseguia detetá-lo, desde que exibisse potência suficiente para a sua deteção.
- Sempre que o terminal móvel era usado próximo das antenas de receção do sistema PMSE, a ligação de vídeo era afetada.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- Ficou bem patente que a comunicação entre o *Warner* e o repositório/controlador LSA não deverá ser estabelecida na mesma faixa de frequências em que o PMSE opera (2.3 – 2.4 GHz, banda 40).
 - Também foi evidente que deverá ser assegurada uma ligação fiável e robusta entre o *Warner* e o repositório/controlador LSA (por exemplo, LORA, SIGFOX, GSM, NB-IoT), uma vez que, em face dos requisitos definidos para a solução implementada, o *data payload* ficou restringido a 20 bytes;
 - O tempo de evacuação (i.e., o período de tempo compreendido entre o instante em que o *Warner* é ligado e o eNode-B LTE é desligado) foi inferior a 1 minuto.
 - O tempo de reposição da rede móvel (i.e., o período de tempo entre o *Warner* ser desligado e o eNode-B LTE recuperar a plena operacionalidade) foi, também, inferior a 1 minuto.
- **Warner LSA:**
 - O *Warner* emerge, assim, como uma peça fundamental na implementação do conceito LSA adaptado à realidade portuguesa.
 - Comprovou-se, a partir dos testes realizados, que o *Warner* deverá estar localizado o mais próximo possível das antenas de receção do sistema PMSE, que se encontram, usualmente, instaladas nas viaturas técnicas de exteriores dos operadores televisivos.
 - O *Warner* foi capaz de identificar o sinal LTE TDD proveniente do eNode-B e de comunicar com o repositório/controlador LSA, usando, para o efeito, uma ligação Wi-Fi.
 - O *Warner* testado detetou, assim, os sinais de sincronização primária PSS (*Primary Synchronization Signals*), que se revelaram adequados e perfeitamente funcionais nos testes que decorreram sobre a rede piloto implementada (dada a sua simplicidade). Todavia, numa implementação real, deverá recorrer-se, em alternativa, ao parâmetro *Cell identifier*, previsto na norma LTE. Tratando de um identificador único na rede celular é, assim, possível identificar univocamente as células que se encontram a interferir o sistema PMSE que se pretende usar.
 - Na deteção de níveis RSSI dos sinais LTE usados, o *Warner* evidenciou uma sensibilidade de -90 dBm (para sinais com 20 MHz de largura de banda).

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- O *Warner* foi concebido para operar na faixa de frequências compreendida entre 200 kHz e 6 GHz, mas o seu desempenho, ao longo desta faixa, depende da antena usada. Na faixa testada (2,3 – 2,4 GHz), o *Warner* revelou-se funcional.
 - Nesta implementação em concreto, o *Warner* foi configurado para fazer varrimentos de frequência, na faixa dos 2,3 a 2,4 GHz, em larguras de banda de 5 MHz (embora outros valores sejam possíveis de seleccionar), de modo a detetar os sinais LTE usados.
 - Neste piloto, o *Warner* foi ligado e desligado manualmente.
 - Quando se força o *Warner* a desligar, a comunicação com o repositório/controlador LSA é terminada, e a rede móvel retoma o seu normal funcionamento. (Não obstante, estando o *Warner* registado no repositório, ao ser forçado a desligar, ele manter-se-á registado e o controlador assume que continua, de facto, registado, ainda que esteja já desligado).
- **Controlador/Repositório LSA:**
 - O controlador LSA conseguiu comunicar, quer com o eNode-B LTE, quer com o *Warner* LSA;
 - O tempo de resposta do controlador LSA medido foi inferior a 30 segundos (contando a partir do momento em que o pedido é recebido pelo *Warner*). O tempo de processamento de pedidos recebidos pelo controlador LSA é negligenciável.
 - Neste piloto, o controlador apenas assumiu o controlo de um eNode-B. Porém, outras implementações mais complexas em que se pretenda controlar múltiplas estações de base, implicará a introdução de algumas alterações à solução aqui testada.
 - Caso tivesse sido garantida a ligação à rede *core* de ambos os operadores, o controlador LSA estaria preparado para atuar sobre todos os eNode-B's que se pretendessem considerar.

- **Conclusão geral:**

- Do ponto de vista tecnológico, e tendo por base os testes piloto que decorreram em Portugal, foi possível validar o conceito LSA e viabilizar a partilha de espectro, na faixa 2,3 – 2,4 GHz, sem constrangimentos de maior nas condições consideradas.

5.1 ASPETOS A MELHORAR NUMA POSSÍVEL IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO LSA EM PORTUGAL

Apesar dos bons resultados obtidos, não se pode deixar de fazer notar que o sistema de deteção e aviso (*Warner LSA*) e controlador LSA, aqui desenvolvidos e implementados, são apenas protótipos e não soluções comerciais finais. Como tal, vislumbra-se, no horizonte, potencial de melhoria. No decorrer dos testes, foram identificados alguns aspetos relevantes que carecem de atenção, para que o modelo LSA possa ser implementado em Portugal de uma forma robusta e fiável, salvaguardando-se, dessa forma, as operações dos utilizadores de espectro envolvidos.

São estas melhorias que se detalham em seguida.

- **Warner LSA:**

- A principal alteração a ser considerada diz respeito à adoção da decodificação do *Cell Identifier (CI)*, ao invés da simples procura dos sinais de sincronismo primário, como até aqui se fazia. Estes sinais, juntamente com os de sincronismo secundário, que não são descodificados pelo *Warner*, permitem adquirir o número de identificação da célula: *Physical Cell Identifier (PCI)*. No entanto, este número apenas é único dentro de uma célula, podendo existir vários PCI iguais na mesma rede. Por outro lado, o *CI* é um identificador único na rede. Se o *Warner* conseguir descodificá-lo e se o enviar para o controlador LSA, este último conseguirá discriminar com

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

exatidão o eNode-B responsável pela emissão do sinal LTE que o *Warner* está a receber naquele momento, podendo sobre ele atuar.

- Para além do *CI*, o *Warner* deverá enviar também informação relativa ao operador PMSE que pretende usar o espectro a partilhar segundo o modelo LSA. Deste modo, o controlador LSA poderá reunir informação mais abrangente acerca da largura de banda que virá a ser ocupada pelo sistema PMSE que está a requerer acesso.
 - Deverá realizar-se um estudo mais aprofundado para otimização do valor de sensibilidade do *Warner* atentos os níveis de interferência expectáveis e aceitáveis do lado dos sistemas PMSE.
 - Em relação ao *hardware* desenvolvido para o protótipo do *Warner*, que recorreu, essencialmente, à tecnologia de FPGA, numa solução comercial do produto, seria de prever a produção deste dispositivo sob a forma de um circuito integrado dedicado ASIC (*Application Specific Integrated Circuits*), implementando apenas as funcionalidades estritamente essenciais que, no caso da FPGA usada, vão muito além do que se necessita na prática. No caso do decodificador do *CI*, poder-se-à recorrer a tecnologias já implementadas nos dispositivos móveis. Por esta via, o tamanho, consumo e eficiência do *Warner* seriam significativamente melhorados e otimizados.
 - Em linha com esta estratégia, seria de tornar o *Warner* num dispositivo automático, que não careça de interação humana para as suas funções mais básicas, como ligar ou desligar o equipamento.
- **Controlador LSA:**
 - Após reunida toda a informação relativa ao número de identificação *CI*, às coordenadas GPS recolhidas pelo *Warner*, ao limiar de decisão quanto ao nível de interferência máxima aceitável e a identificação do sistema PMSE associado ao *Warner*, o controlador deverá conseguir desligar apenas o(s) eNode-B(s) LTE passível(eis) de interferir o sinal PMSE.

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

- Tendo sido usado um protótipo simplificado do controlador LSA, existe, de um modo geral, uma necessidade premente de robustecer a segurança das ligações e a conectividade com o OSS, designadamente ao nível dos perfis de controlo e comando do sistema;
- Existem cenários específicos de utilização de sistemas PMSE, por exemplo, o acompanhamento de uma prova de ciclismo, onde as ligações de vídeo estão em constante movimento e, nesse caso, a utilização do *Warner*, tal como foi concebido, e considerando-se instalado junto às viaturas de exteriores, deixa de fazer sentido. Caso se considerasse um cenário de mobilidade como este, a complexidade do sistema aumentaria significativamente. Uma solução simples para este tipo de situações seria considerar a funcionalidade de delimitar uma zona, dentro da qual, não poderiam existir eNode-B's LTE ativos, enquanto durasse o evento a cobrir. Desta forma, impedia-se, com a devida antecedência, potenciais interferências nas ligações de vídeo.
- De modo a garantir, ao operador móvel, uma melhor perceção acerca do estado de funcionamento do sistema LSA, a cada momento, seria útil considerar uma funcionalidade que permitisse monitorizar toda a atividade do controlador LSA e o estado operacional dos eNode-B's por ele controladas.

6 PARECER FINAL COM BASE NOS RESULTADOS DO TESTE PILOTO

Do ponto de vista técnico, e cingindo-nos aos aspetos testados neste piloto, conclui-se que, de um modo geral, a solução encontrada para a implementação do modelo LSA em Portugal é **viável e exequível**, acauteladas que estejam as alterações de melhoria identificadas e propostas neste relatório.

Como nota final, importa salientar que este projeto e em particular os resultados, que dele se extraem, são muito relevantes para o futuro da gestão do espectro, abrindo

Relatório Final

Estudo sobre o modelo de partilha de espectro Licensed Shared Access (LSA) em Portugal

caminho para outros estudos igualmente importantes e complementares a este, não só com vista ao aprimoramento dos aspetos tecnológicos passíveis de melhoria, devidamente identificados, como também para a definição de um referencial regulatório e jurídico que permita estabelecer as bases para a introdução do modelo LSA.