



**Instituto Universitário de Lisboa**

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

**Cobertura VHF suportada por uma rede IP para o  
uso de VoIP**

João Nuno Melo Teixeira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Telecomunicações e Informática**

Orientador:

Professor João Carlos Silva, Professor Auxiliar

ISCTE-IUL

Coorientador:

Eng. Alexandre Silva, Assessor MANATL

NAV Portugal, E.P.E.

Outubro de 2019



# Resumo

Num mundo cada vez mais tecnológico, são inúmeros os benefícios e as facilidades que se criam com a inserção das tecnologias em diversas áreas. No âmbito da navegação aérea, a adoção das tecnologias atualmente existentes visa elevar o nível da eficiência e da segurança com que os *Air Traffic Services* (ATS's) são prestados.

Com o crescimento do tráfego aéreo surgem cada vez mais desafios na prestação de ATS's. Garantir a segurança das aeronaves e promover a eficiência do fluxo das mesmas no espaço aéreo nunca foi uma tarefa fácil. De forma a atender às novas demandas do mercado, a Comissão Europeia definiu o programa SESAR 2020, o qual tem como missão otimizar a prestação das *Air Navigation Service Providers* (ANSP's) no espaço europeu, introduzindo tecnologias de última geração nos sistemas inerentes à prestação dos seus serviços.

No âmbito das comunicações entre os diversos sistemas, a aplicação das novas tecnologias remete para a utilização do *Internet Protocol* (IP), promovendo os benefícios inerentes à interoperabilidade entre sistemas. Uma vez que a navegação aérea se enquadra num ambiente extremamente regulado e crítico, foram definidas normas de forma a mitigar fragilidades e garantir que qualquer sistema IP implementado sirva a operação de forma segura e eficiente. Nesta dissertação, são explorados e simulados os *upgrades* a serem implementados nos sistemas de comunicações de voz que a NAV Portugal recorre para a prestação do Serviço Radar.

De forma a elevar o grau de qualidade operacional e tecnológica na prestação deste serviço, são consideradas as etapas fundamentais à transmissão de voz entre os Controladores de Tráfego Aéreo (CTA's) e as aeronaves. Uma vez que as comunicações do Serviço Radar são efetuadas via *Very High Frequency* (VHF), numa primeira fase são apresentadas propostas técnicas relativamente à qualidade da cobertura VHF disponível. Posteriormente, são analisadas e discutidas as soluções que visam introduzir o *Voice over Internet Protocol* (VoIP) nos sistemas de voz inerentes a ao Serviço Radar. Por fim, é projetada uma rede de comunicações IP, a qual será responsável pela ligação entre estes sistemas tendo em consideração o novo ambiente regulatório.

**Palavras-chave:** Serviço Radar, Cobertura VHF, VoIP, interoperabilidade entre sistemas, ED-137B, rede de comunicações IP.



# Abstract

In an increasingly technological world, there are many benefits and facilities created by the insertion of modern technologies in many areas. In the air navigation world, the adoption of these technologies aims to raise the level of efficiency and security with which Air Traffic Services (ATS's) are provided.

With the growth of air traffic, more and more challenges arise in the provision of ATS. Ensuring safety and promoting airspace efficiency has never been an easy task. In order to meet the new market demands, the European Commission has defined the SESAR 2020 program, whose mission is to optimize Air Navigation Service Providers (ANSP's) services delivery in European airspace by introducing state-of-art technologies into the systems inherent to their services.

In the context of communications between different systems, the application of new technologies refers to the user of the Internet Protocol (IP), promoting the adjacent benefits of interoperability between systems. Since air navigation fits into an extremely regulated and critical environment, standards have been set to mitigate weaknesses and ensure that any deployed IP system serves the operation in a more efficient and secure way. This dissertation explores the upgrades to be implemented in the voice communication systems used by NAV Portugal to provide the Radar Service

In order to increase the operational and technological quality in the provision of this service, the fundamental steps to voice transmission between air traffic controllers (ATC's) and aircrafts are considered in this project. Since Radar Service communications are established by Very High Frequency (VHF), firstly, technical proposals are made regarding the quality of available VHF coverage. Subsequently, solutions aimed at introducing Voice over Internet Protocol (VoIP) into the voice systems inherent to the Radar Service are analysed and discussed. Finally, it will be designed an IP communications network that will support the connections between these systems considering the new regulations.

**Keywords:** Radar Service, VHF Coverage, VoIP, interoperability between systems, ED-137B, IP communications network.



# Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer aos meus orientadores, Professor João Carlos Silva do ISCTE-IUL e Eng. Alexandre Silva da NAV Portugal por todo o seu apoio e empenho durante a realização deste projeto.

Quero também agradecer à NAV Portugal pela confiança, pelas oportunidades que me proporcionaram e por me disponibilizarem todos os recursos necessários para a elaboração desta dissertação. Um obrigado especial ao Eng. Eduardo Ferreira, Eng. Emanuel Cabral, Eng. Sérgio Soares e a todos os outros engenheiros e funcionários da NAV Portugal pelo seu apoio durante a realização deste projeto.

Devo também um obrigado ao Eng. Yuchuan Liu da Spirent que me transmitiu todos os conhecimentos necessários para uma das fases mais desafiantes deste projeto.

Um obrigado especial aos meus pais, João Eduardo e Elisabete, à minha irmã Isabel e a todos os meus familiares que me acompanharam, apoiaram e motivaram ao longo desta temporada.

Finalmente, quero deixar um agradecimento especial a todos os meus amigos que de uma forma ou de outra apoiaram-me e motivaram-me a realizar este projeto.

Muito obrigado!



# Índice de conteúdos

Resumo.....	I
Abstract .....	III
Agradecimentos.....	V
Índice de conteúdos.....	VII
Índice de figuras.....	XI
Índice de tabelas.....	XIII
Glossário.....	XV
<b>Capítulo 1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto e motivação .....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura do documento.....	4
1.4 Participações e contribuições.....	5
1.4.1 Programas de estágio realizados.....	5
1.4.2 Artigos elaborados.....	5
<b>Capítulo 2. Conceitos prévios e estado da arte .....</b>	<b>7</b>
2.1 Navegação aérea e de suporte.....	8
2.1.1 Introdução à navegação aérea e aos <i>Air Traffic Services</i> .....	8
2.1.2 Organização do espaço aéreo .....	9
2.1.3 Sistemas de auxílio ao ATM .....	10
2.2 Caracterização do Serviço Radar.....	11
2.2.1 Cobertura de Vigilância.....	12
2.2.2 Comunicações do Serviço Radar.....	13
2.2.3 Frequências VHF utilizadas no Serviço Radar.....	14
2.2.4 Comunicações rádio entre um CTA e uma aeronave .....	15
2.2.5 Funcionalidades das comunicações VHF.....	16
2.3 Estado da arte.....	16
2.3.1 Infraestrutura de suporte às comunicações de voz .....	16
2.3.2 Migração para sistemas VoIP em ATM .....	18
2.3.3 Rede de comunicações .....	18
<b>Capítulo 3. Cobertura VHF suportada por uma rede IP para o uso de VoIP .....</b>	<b>21</b>
3.1 Metodologia.....	22
3.1.1 Comunicações VHF do Serviço Radar;.....	22
3.1.2 Implementação do VoIP nas comunicações A/G do Serviço Radar .....	23
3.1.3 Rede de comunicações de suporte aos serviços prestados .....	24

3.2	<i>Upgrade</i> da cobertura VHF do Serviço Radar .....	26
3.2.1	Considerações prévias à implementação de um parque de antenas .....	26
3.2.2	Planeamento e modelo .....	26
3.2.3	Contextualização do sistema atual .....	28
3.2.4	Problemas identificados .....	30
3.2.5	Soluções técnicas propostas .....	31
3.3	Comunicações A/G por VoIP do Serviço Radar .....	33
3.3.1	Princípios de comunicação VoIP entre o VCS e os rádios VHF.....	33
3.3.2	<i>Standards</i> de interoperabilidade VoIP: VCS – Rádios VHF .....	35
3.3.3	Migração para sistemas VoIP.....	36
3.4	Rede de comunicações ATM.....	39
3.4.1	Levantamento dos requisitos da rede ATM .....	39
3.4.2	Caracterização da rede de comunicações atual .....	40
3.4.3	Planeamento da nova rede de comunicações ATM.....	45
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Validação de soluções</b> .....	<b>55</b>
4.1	Avaliação da cobertura VHF do Serviço Radar .....	56
4.1.1	Metodologia de avaliação.....	56
4.1.2	<i>Software</i> e modelo utilizado.....	56
4.1.3	Cenários de estudo .....	57
4.1.4	Configurações efetuadas.....	57
4.1.5	Resultados obtidos.....	61
4.1.6	Análise dos resultados .....	66
4.1.7	Validação dos resultados simulados.....	68
4.2	Validação da interoperabilidade VoIP: VCS – Rádios VHF.....	68
4.2.1	VOTER – VoIP in ATM Test Suite .....	68
4.2.2	Modelo de teste no VOTER .....	69
4.2.3	Ambiente de teste .....	69
4.2.4	Testes efetuados no VOTER .....	70
4.2.5	Configuração e execução dos testes .....	71
4.2.6	Resultados obtidos e análise.....	75
4.3	Matriz de <i>compliance</i> da nova rede de comunicações.....	77
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Conclusões e evoluções futuras</b> .....	<b>79</b>
5.1	Conclusões.....	80
5.1.1	<i>Upgrade</i> da cobertura VHF do Serviço Radar .....	80
5.1.2	Comunicações A/G por VoIP do Serviço Radar .....	82
5.1.3	Rede de comunicações ATM .....	82
5.1.4	Sumário das conclusões .....	84

5.2	Evoluções futuras .....	85
5.2.1	Trabalho futuro a ser realizado.....	85
5.2.2	Mudança de paradigma na prestação dos ATS .....	85
<b>Referências</b>	.....	87
<b>Apêndices</b>	.....	91
Apêndice A	– “Recursos utilizados na cobertura de vigilância” .....	93
A.1	- SSR – <i>Secondary Surveillance Radar</i> .....	93
A.2	- MultiLateration .....	93
A.3	- ADS – <i>Automatic Dependent Surveillance</i> .....	94
Apêndice B	– “Meios alternativos de comunicações A/G” .....	95
B.1	- Comunicações rádio via HF .....	95
B.2	- Comunicações via satélite.....	96
Apêndice C	– “Funcionalidades das comunicações VHF” .....	97
C.1	- BSS – <i>Best Signal Selection</i> .....	97
C.2	- Climax – <i>Offset-carrier Operation</i> .....	98
C.3	- Emissão Seletiva .....	99
C.4	- Método Combinado .....	100
C.5	- Coupling.....	100
Apêndice D	– “Considerações prévias à implementação de um parque de antenas” .....	101
D.1	- Localização e condições topográficas.....	101
D.2	- Fatores a nível de implementação .....	103
Apêndice E	– “Requisitos da infraestrutura de telecomunicações” .....	105
E.1	- Requisitos de Serviços .....	105
E.2	- Requisitos de <i>Interfaces</i> .....	105
E.3	- Características da rede.....	106
E.4	- Arquitetura dos <i>Sites</i> .....	108
E.5	- Requisitos de SMC.....	109
E.6	- Requisitos de segurança .....	110
Apêndice F	– “Matriz de ligação dos requisitos com o ambiente regulatório” .....	113
Apêndice G	– “Fluxograma de procedimentos SMC” .....	115
Apêndice H	– “Resultados obtidos nas simulações no Radio Mobile” .....	117
Apêndice I	– “Resumo de trabalhos: Reestruturação Pico Alto” .....	121
I.1	- Relocalização das antenas .....	121
I.2	- Substituição das antenas .....	123
I.3	- Substituição dos cabos RF.....	123
I.4	- Colocação de filtros de receção.....	123
I.5	- Cenário final .....	123

## Índice de conteúdos

---

Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER” .....	125
J.1 – Configurações VOTER: GRS_Radio_Interface_Testcases .....	125
J.2 – Configurações VOTER: VCS_Radio_Interface_Testcases .....	128
Apêndice K – “Output VCS_Radio_Interface_Testcases” .....	131
Apêndice L – “Output GRS_Radio_Interface_Testcases” .....	149
L.1 – Resultados com GRS Transmissor .....	149
L.2 – Resultados com GRS Recetor .....	167
Anexos .....	185
Anexo A – “Rotas predominantes na FIR de Santa Maria” .....	187
Anexo B – “Locais privilegiados à implementação de um parque de antenas” .....	189
Anexo C – “Cabos submarinos de fibra ótica” .....	191
Anexo D – “Ficha técnica: Sinclair SC272-SF1SNF” .....	197
Anexo E – “Ficha técnica: Skymasts S.6Y” .....	199
Anexo F – “Ficha técnica: PROCOM CXL 3-3C” .....	201
Anexo G – “Ficha técnica: CELLFLEX 7/8” LCF78-50JA-A7” .....	203
Anexo H – “Ficha técnica: COMMSCOPE CNT-400” .....	205
Anexo I – “Serviços da rede FreedomSat” .....	207

# Índice de figuras

Figura 1.1 - Quantidade de voos europeus efetuados anualmente .....	2
Figura 2.1 - FIR de Santa Maria e FIR de Lisboa .....	9
Figura 2.2 – Organização do espaço aéreo: FIR, TMA e CTR .....	10
Figura 2.3 - Relação entre sistema ATM e sistemas CNS .....	10
Figura 2.4 - TMA dos Açores no contexto da FIR.....	11
Figura 2.5 - Cobertura de vigilância na FIR de Santa Maria .....	12
Figura 2.6 - Cobertura VHF teórica do Serviço Radar – FL300.....	13
Figura 2.7 - Ecrã interativo de um CTA para escolher da frequência a utilizar.....	14
Figura 2.8 – Funcionamento lógico das comunicações do Serviço Radar.....	15
Figura 2.9 – Infraestrutura VoIP aplicada ao ATM .....	17
Figura 3.1 - Zonas de interesse de cobertura VHF (FL300) .....	22
Figura 3.2 - Infraestrutura de telecomunicações de suporte aos serviços prestados .....	25
Figura 3.3 – Antenas VHF no varandim do sistema SSR (Estação Pico Alto).....	30
Figura 3.4 - Tráfego aéreo entre o Arquipélago dos Açores e o da Madeira .....	31
Figura 3.5 - Localização sugerida: Serra de Santa Bárbara, Ilha Terceira.....	33
Figura 3.6 - Estabelecimento de ligação entre VCS e rádio Tx/Rx .....	34
Figura 3.7 - Estabelecimento de ligação entre o VCS e rádios Tx e Rx distintos.....	35
Figura 3.8 - Rádios VHF da JOTRON (TA-7650, RA-7203).....	36
Figura 3.9 - Rádios VHF JOTRON: Acesso à rede via IP .....	37
Figura 3.10 - VCS da DENRO do CCO.....	37
Figura 3.11 - Cartas analógicas do VCS .....	37
Figura 3.12 - Novo VCS Frequentis 3020X do CCO .....	38
Figura 3.13 - Ligações lógicas entre os sites: solução atual.....	41
Figura 3.14 - Arquitetura dos sites: solução atual .....	42
Figura 3.15 - Ligações físicas entre os sites: solução atual.....	43
Figura 3.16 - Exemplo de uma WAN com Frame Relay .....	44
Figura 3.17 - Ligações lógicas entre os sites: nova solução.....	46
Figura 3.18 - Distinção Customer Edge e Provider Edge .....	46
Figura 3.19 - Arquitetura dos sites: nova solução (Customer Edge).....	47
Figura 3.20 - Arquitetura dos sites: nova solução (Provider Edge) .....	47
Figura 3.21 - Ligações físicas entre os sites: nova solução.....	48
Figura 3.22 - Distribuição de tráfego e limite de largura de banda.....	50
Figura 4.1 - Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL100.....	62
Figura 4.2 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL100.....	62
Figura 4.3 - Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL300.....	63
Figura 4.4 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL300.....	63
Figura 4.5 – Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL400 .....	64
Figura 4.6 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL400.....	64
Figura 4.7 - Área total prevista de cobertura VHF.....	65
Figura 4.8 - Comunicação VHF com aeronaves a diferentes níveis de voo .....	66
Figura 4.9 - Modelo de testes no VOTER.....	69
Figura 4.10 - Ambiente de testes no VOTER .....	69
Figura 4.11 - Ligação lógica entre o Tester e o VCS .....	71
Figura 4.12 - Configuração do IP no Tester (rede VHF_TWR) .....	71
Figura 4.13 - Ligação física do Tester ao distribuidor do CCO.....	72
Figura 4.14 - Pedido de chamada no VCS para o Tester .....	73
Figura 4.15 - Chamada rádio efetuada no VCS .....	73

## Índice de figuras

---

Figura 4.16 - Ligação lógica entre o Tester e os rádios VHF da estação do Pico Alto.....	74
Figura 4.17 - Configuração do IP no Tester (rede VCS).....	74
Figura 5.1 - Expansão teórica VHF com estação na Ilha Terceira (FL300) .....	81

# Índice de tabelas

Tabela 1 - Órgãos do DOPATL: FIR de Santa Maria.....	24
Tabela 2 - Órgãos da DOPLIS: FIR de Lisboa .....	24
Tabela 3 - Locais privilegiadas à implementação de um parque de antenas VHF.....	27
Tabela 4 - Requisitos técnicos das antenas .....	28
Tabela 5 - Localizações dos parques de antenas VHF atuais.....	28
Tabela 6 - Comunicações VHF garantidas com o sistema inicial .....	29
Tabela 7 - Serviços integrados na rede Multinet.....	45
Tabela 8 - Serviços não integrados na rede Multinet .....	45
Tabela 9 - Quantidade de serviços a integrar na nova rede de comunicações .....	51
Tabela 10 - Recomendações ICAO - Potência mínima recebida na aeronave.....	58
Tabela 11 - Parâmetros de simulação: sistema atual Ilha de Santa Maria .....	59
Tabela 12 - Parâmetros de simulação: solução Ilha de Santa Maria .....	59
Tabela 13 - Parâmetros de simulação: sistema atual Ilha das Flores .....	59
Tabela 14 - Parâmetros de simulação: solução Ilha das Flores .....	60
Tabela 15 - Parâmetros de simulação: sistema atual Porto Santo .....	60
Tabela 16 - Parâmetros de simulação: solução Ilha Terceira.....	60
Tabela 17 - Aumento total previsto de cobertura VHF .....	65
Tabela 18 - Configurações no Tester - VCS_Radio_Interface_Testcases .....	72
Tabela 19 - Configurações do SUT - VCS_Radio_Interface_Testcases.....	72
Tabela 20 - Configurações no Tester - GRS_Radio_Interface_Testcases .....	75
Tabela 21 - Configurações do SUT (Emissor) - GRS_Radio_Interface_Testcases).....	75
Tabela 22 - Configurações do SUT (Recetor) - VCS_Radio_Interface_Testcases.....	75
Tabela 23 - Resultados dos testes efetuados ao VCS.....	76
Tabela 24 - Resultados dos testes efetuados aos equipamentos rádio.....	76
Tabela 25 - Matriz de compliance entre a planificação da rede ATM e os requisitos estipulados.....	77
Tabela 26 - Matriz de ligação de requisitos com o ambiente regulatório. ....	113
Tabela 27 - Distribuição das frequências - Pico Alto.....	121



# Glossário

A/C Call	<i>Aircraft Call</i>
A/G	<i>Air-ground</i>
ADS	<i>Automatic Dependent Surveillance</i>
AFOS	<i>Azores Fiber Optic System</i>
AFTN	<i>Aeronautical Fixed Telecommunication Network</i>
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>
AMHS	<i>Aeronautical Message Handling Service</i>
ANSP	<i>Air Navigation Services Provider</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
ATS	<i>Air Traffic Services</i>
AVSEC	<i>Aviation Security</i>
BSS	<i>Best Signal Selection</i>
CCO	<b>Centro de Controlo Oceânico</b>
CIA	<i>Confidentiality, Integrity, Availability</i>
CNS	<i>Communications, Navigation and Surveillance</i>
CPDLC	<i>Controller Pilot Data Link Communications</i>
CTA	<b>Controlador de Tráfego Aéreo</b>
CTR	<i>Control Zone</i>
CWP	<i>Controller Working Position</i>
DOPATL	<b>Direção de Operações da Região Atlântica</b>
DOPLIS	<b>Direção de Operações da Região de Lisboa</b>
EASA	<b>European Union Aviation Safety Agency</b>
E&M	<i>Ear &amp; Mouth</i>
ERP	<i>Effective Radiated Power</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FL	<i>Flight Level</i>
G/G	<i>Ground-ground</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GRS	<i>Ground Radio Station</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HSRP	<i>Hot Standby Router Protocol</i>
IDS	<i>Intrusion Detection Systems</i>
INFOSEC	<i>Information Security</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPS	<i>Intrusion Prevention Systems</i>
ITU-R	<i>International Telecommunication Union - Radio Communication Sector</i>
LEO	<i>Low Earth Orbit</i>
MLat	<i>MultiLateration</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
MTC	<i>Main Test Component</i>
NM	<i>Nautical Mile (milha náutica)</i>

NMS	<i>Network Management System</i>
NewPENS	<i>New Pan European Network Services</i>
PCM	<i>Pulse-Code Modulation</i>
PSR	<i>Primary Surveillance Radar</i>
PTP	<i>Point-to-Point</i>
PTT	<i>Push-to-talk</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RCP	<i>Required Communication Performance</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RIV	<b>Região de Informação de Voo (= FIR)</b>
RSP	<i>Required Surveillance Performance</i>
RTCP	<i>Real-time Transport Control Protocol</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SDP	<i>Session Description Protocol</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SMC	<b>Supervisão, Monitorização e Controlo</b>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SSR	<i>Secondary Surveillance Radar</i>
SUT	<i>System Under Test</i>
SWIM	<i>System Wide Information Management</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i>
TMA	<i>Terminal Manoeuvring Area</i>
Tx/Rx	<i>Transmit/Receive</i>
UA	<i>User Agent</i>
VC	<i>Virtual Circuit</i>
VCS	<i>Voice Communications System</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
VPN	<i>Virtual Port Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

# **Capítulo 1**

## **Introdução**

### 1.1 Contexto e motivação

As tecnologias de última geração são um fator promissor no que toca a elevar o grau de eficiência e de segurança com que os serviços de tráfego aéreo são prestados. As novas soluções tecnológicas têm em vista combater um dos principais problemas que se tem vindo a verificar nos últimos tempos: o constante aumento de tráfego aéreo.

O tráfego aéreo tem-se tornado cada vez maior e é esperado que, com o passar dos anos, este crescimento seja cada vez mais acentuado. Segundo dados do EUROCONTROL [1], como ilustrado na Figura 1.1, o número de voos europeus tem vindo a aumentar ao longo dos anos, sendo previsto cerca de 16 milhões de voos na Europa em 2040.

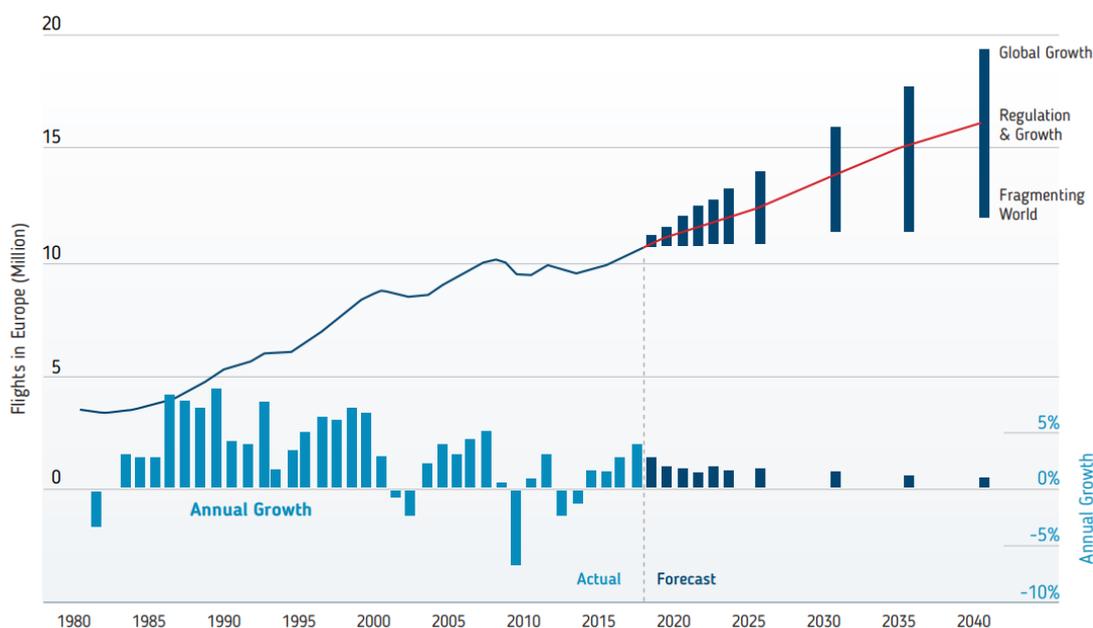


Figura 1.1 - Quantidade de voos europeus efetuados anualmente

Todos estes voos transportam passageiros com expectativas de realizar uma viagem suave, segura e sem atrasos ou cancelamentos. Como tal, são utilizados sistemas de auxílio ao ATM (*Air Traffic Management*) que visam gerir, garantir a segurança e promover a eficiência na gestão do tráfego aéreo [2].

No entanto, com o crescimento contínuo do número de voos efetuados, a densidade de tráfego nos céus aumenta, tornando-se cada vez mais desafiante para os sistemas de ATM suportar as necessidades atuais. Como problemas modernos requerem soluções modernas, é reforçada a necessidade de atualizar os mecanismos existentes para novas e mais modernas soluções tecnológicas que permitiram suportar as exigências atuais no que diz respeito à gestão do espaço aéreo [2].

Em Portugal, este crescimento também se tem sentido. Segundo a revista NAVegar, no final de 2018 verificou-se um aumento de 7.3% de tráfego na *Flight Information Region* (FIR) de Santa Maria e de 4.3% na FIR de Lisboa relativamente à mesma época do ano anterior [3].

Tal como todas as outras ANSP's, a NAV Portugal também tem em vista adotar novas soluções tecnológicas relativamente a sistemas de comunicações, de navegação e de vigilância a fim de acompanhar as novas exigências do mercado. É de salientar que a

migração para as tecnologias de última geração não é facultativa. O desenvolvimento destas tecnologias e a possibilidade de as adaptar à operação incentivou uma mudança dos requisitos estipulados pelas entidades reguladoras que uma ANSP deve cumprir para prestar os seus serviços.

No sector das comunicações em concreto, os sistemas de transmissão de voz resilientes cumprem um papel fundamental nas comunicações entre os Controladores de Tráfego Aéreo e as aeronaves. Recentemente, as entidades provedoras de sistemas de telecomunicações atualizaram os seus produtos de modo a prestarem os serviços de comunicação via IP. Sendo assim, os sistemas de comunicação analógicos com base em TDM (*Time Division Multiplexing*) utilizados até à data caíram em desuso [4].

Uma vez que a EUROCAE (*European Organisation for Civil Aviation Equipment*) já padronizou a utilização do VoIP nas áreas de ATM, esta tecnologia já se encontra pronta para ser implementada por entidades ANSP de forma progressiva e causando os mínimos impactos nas suas operações. Além do mais, os meios de comunicação entre os diversos sistemas ATM também tem vindo a evoluir de uma forma disruptiva, propondo uma mudança de paradigma na forma como os serviços de ATM são suportados, promovendo uma utilização flexível e dinâmica dos recursos das ANSP's.

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação enquadra-se na área científica de telecomunicações, mais concretamente entre os Controladores de Tráfego Aéreo e as aeronaves. O principal objetivo prendeu-se pela introdução das tecnologias de comunicações de voz de última geração no Centro de Controlo Oceânico (CCO) da NAV Portugal. Embora sejam prestados diversos serviços de navegação aérea, esta dissertação focou-se no principal ATS prestado no CCO: o Serviço Radar. Embora as evoluções tecnológicas que têm ocorrido nas comunicações *air-ground* (A/G) remetem para inúmeros benefícios, a sua implementação só faz sentido se for possível efetuar uma comunicação viável com as aeronaves.

Desta forma, o primeiro objetivo desta dissertação passou por apresentar uma solução que proporcione uma cobertura VHF vasta e de qualidade que permita estabelecer o contacto com as aeronaves que usufruem deste serviço. Como tal, foi desenvolvida uma solução modelo para que seja posteriormente comparada com as soluções atualmente disponíveis. A partir desta comparação, foram apresentadas propostas de solução a aplicar para que a cobertura VHF possa ser melhorada.

O segundo objetivo caracterizou-se pela migração para as tecnologias de última geração (nomeadamente o VoIP) nas comunicações de voz do Serviço Radar. Foram estudados os sistemas inerentes ao estabelecimento das comunicações A/G do Serviço Radar e exploradas as soluções que permitiram a introdução do VoIP nos mesmos. Adicionalmente, de forma a validar as soluções encontradas, as mesmas foram testadas através de ferramentas certificadas para o efeito de forma a garantir a sua validade em função do ambiente regulatório em vigor.

Em terceiro lugar, o objetivo passou por estudar a rede de comunicações atualmente disponível e apresentar uma planificação de uma nova rede de comunicações que suportará os serviços de navegação aérea prestados pela NAV Portugal na FIR de Santa Maria. Esta

planificação foi efetuada considerando não só as necessidades atuais e futuras como também as mudanças que ocorreram no ambiente regulatório referente a este tema.

De uma forma mais genérica, um dos objetivos deste projeto passou também por identificar a abordagem metodológica mais apropriada a aplicar em projetos neste âmbito. Sendo assim, o método de abordagem desta dissertação serve não só como ponto de partida para o caso concreto do Serviço Radar, mas como também para a realização de projetos futuros com características semelhantes relativamente a outros ATS's prestados pela NAV Portugal.

### 1.3 Estrutura do documento

Em termos de estrutura, esta dissertação é composta por cinco capítulos. O presente capítulo, de carácter introdutório, visa contextualizar o tema desta dissertação, apurar quais os aspetos motivadores à sua realização e definir os seus objetivos.

No segundo capítulo, Conceitos prévios e estado da arte, consta uma abordagem teórica dos tópicos necessários à realização desta dissertação. São incluídos temas relacionados com navegação aérea, serviços de ATM, comunicações aeronáuticas e sistemas inerentes às mesmas. Posteriormente, é identificado o estado da arte destes sistemas, ou seja, quais as características que os definem atualmente bem como o modo como os serviços devem ser prestados.

O capítulo 3 diz respeito ao desenvolvimento do projeto. A organização deste capítulo visa seguir os objetivos desta dissertação. A primeira parte diz respeito ao *upgrade* da cobertura VHF do Serviço Radar, seguindo-se o *upgrade* dos sistemas de comunicações A/G utilizados no mesmo. Por fim, é efetuado o planeamento da rede de telecomunicações de suporte aos novos sistemas.

No quarto capítulo são validadas as soluções propostas no capítulo anterior referentes às diferentes componentes mencionadas.

Finalmente, é através do capítulo 5 que são extraídas as conclusões provenientes da elaboração desta dissertação bem como o trabalho a ser futuramente desenvolvido relativamente ao progresso deste projeto.

No final deste documento consta uma secção de apêndices referente aos conteúdos elaborados pelo autor desta dissertação que complementam este projeto, bem com uma secção de anexos onde é possível encontrar o material externo utilizado nesta dissertação.

## 1.4 Participações e contribuições

### 1.4.1 Programas de estágio realizados

No âmbito desta dissertação, para fins de investigação e de integração no ambiente da navegação aérea e respetivas operações, deu-se a participação em dois programas de estágio realizados nas instalações da NAV Portugal na Ilha de Santa Maria, nomeadamente:

- Programa de estágio realizado em julho e agosto de 2017;
- Programa de estágio realizado entre fevereiro e outubro de 2019.

### 1.4.2 Artigos elaborados

No âmbito do desenvolvimento desta dissertação foram adicionalmente elaborados dois artigos, nomeadamente:

- J. Teixeira, J. Silva e S. Soares, “Preparing Radar Service VHF coverage for the introduction of VoIP Technologies”, 2019.
- J. Teixeira, J. Silva e E. Cabral, “VoIP implementation and validation in Radar Service A/G communications”, 2019.

Ambos os artigos foram aceites para publicação na revista *Air Traffic Services Safety Technology* da APTTA (Associação portuguesa de técnicos de telecomunicações aeronáuticas).



# **Capítulo 2**

**Conceitos prévios e estado da arte**

# 2.1 Navegação aérea e de suporte

## 2.1.1 Introdução à navegação aérea e aos *Air Traffic Services*

A navegação aérea refere-se a um conjunto de serviços (*Air Traffic Services*) cujo principal propósito é de gerir e controlar o tráfego aéreo, encaminhando as aeronaves entre uma origem e um destino. Os princípios base utilizados na navegação aérea são os idênticos ao da navegação em geral. Estes incluem o processo de planear, registar e controlar o trajeto de uma aeronave ao longo do seu deslocamento.

Os serviços de ATM caracterizam-se pela gestão dinâmica e flexível do tráfego aéreo ao longo do seu deslocamento no espaço aéreo. Estes consistem num conjunto de operações de acompanhamento das aeronaves desde uma origem a um destino de forma a garantir a segurança e promover a flexibilidade e eficiência no espaço aéreo. Estes serviços são prestados pelas Controladores de Tráfego Aéreo (CTA's).

Além dos serviços de controlo de tráfego aéreo, existem outros serviços associados à navegação aérea de modo a que o seu objetivo seja cumprido. Entre os demais destacam-se os serviços de meteorologia, de salvamento e buscas, de telecomunicações, de informática e serviços de prestação de informação aeronáutica.

Em Portugal, a ANSP responsável pela prestação de serviços navegação aérea é a NAV Portugal. Esta garante serviços de Controlo de Tráfego Aéreo, serviços de Informação de Voo e serviços de Alerta nas FIR's de responsabilidade portuguesa [5]:

- FIR de Lisboa – 662.520,759 Km<sup>2</sup>.
  - Região soberana a Portugal.
- FIR de Santa Maria (ou FIR Oceânica) – 5.138.160,886 Km<sup>2</sup>;
  - Região maioritariamente delegada a Portugal.

Além disso, são prestados serviços de tráfego aéreo nos principais aeroportos do país. Na FIR de Lisboa, as operações são de responsabilidade da Direção de Operações da Região de Lisboa (DOPLIS) cuja prestação de serviços engloba não só os aeroportos em Portugal continental (Lisboa, Porto, Cascais e Faro) como também no arquipélago da Madeira (Funchal e Porto Santo) [6].

Relativamente à FIR de Santa Maria, cabe à Direção de Operações da Região do Atlântico (DOPATL) a prestação de serviços de navegação aérea em diversos aeroportos do arquipélago dos Açores, nomeadamente: Ponta Delgada, Santa Maria, Horta e Flores [6]. Ao gerir as respetivas torres de controlo, são executados nestes aeroportos serviços de controlo de aproximação e controlo de aeródromo (o qual inclui a circulação em solo) [6].

Além destes serviços, através do Centro de Controlo Oceânico (CCO) localizado na Ilha de Santa Maria, a NAV Portugal presta o controlo de tráfego aéreo na região do atlântico norte. Este serviço é conhecido como Serviço Radar, o qual será alvo desta dissertação.

### 2.1.2 Organização do espaço aéreo

O espaço aéreo está dividido mundialmente em **FIR's** (*Flight Information Region*, em português: Região de Informação de Voo - **RIV**). Cada FIR corresponde a uma área delimitada onde uma determinada ANSP opera. Enquanto uma aeronave se encontra a sobrevoar uma dada FIR, esta deve seguir a rota e as instruções indicadas pelos Controladores de Tráfego Aéreo da ANSP responsável por aquela FIR.

A Figura 2.1, extraída e adaptada de [7], exemplifica o conceito de FIR ilustrando algumas das diferentes FIR's existentes mundialmente. Nesta mesma figura, é realçando a FIR de Santa Maria e a de Lisboa que são as da responsabilidade portuguesa, onde a NAV Portugal opera.



Figura 2.1 - FIR de Santa Maria e FIR de Lisboa

No interior de uma FIR, podem constar diferentes *Terminal Manoeuvring Areas* (TMA's) [8]. Uma TMA designa um espaço aéreo menor dentro de uma FIR que corresponde a um volume onde se verifica uma maior densidade de tráfego aéreo devido à existências de vários aeroportos [9].

Um exemplo adequado de uma TMA nas FIR's é o espaço aéreo sobre o arquipélago dos Açores. Neste, verifica-se diariamente uma grande afluência ao tráfego aéreo não só regional entre as diferentes ilhas que constituem o arquipélago como também de voos internacionais com origem ou destino no arquipélago.

Nas zonas próximas a aeroportos, as aeronaves encontram-se em espaços aéreos referidos como *Control Areas* (CTR) [8]. Estas zonas são reservadas para o controlo de aproximação, aterragem ou descolagem e *taxi* (deslocamento da aeronave em solo). A Figura 2.2, através de um cenário fictício meramente ilustrativo, visa esclarecer os conceitos abordados relativamente à organização do espaço aéreo.

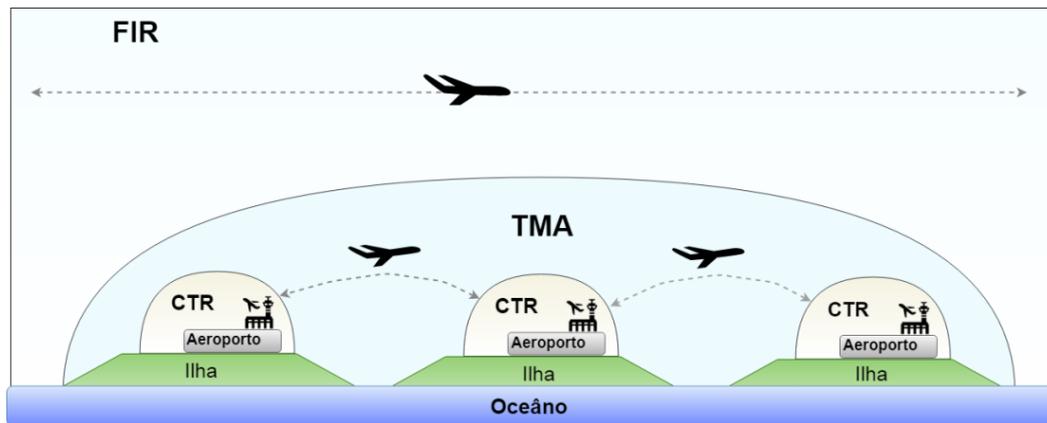


Figura 2.2 – Organização do espaço aéreo: FIR, TMA e CTR

Embora na Figura 2.2 estejam representadas ilhas que remetem para o caso concreto do arquipélago dos Açores, não significa que uma TMA seja definida exclusivamente sobre um arquipélago.

Além das coordenadas da aeronave em termos de latitude e longitude, o que também determina em que zona do espaço aéreo ela se encontra é o seu nível de voo. O nível de voo de uma aeronave é representado por FLxxx em que FL refere-se a *Flight Level* e xxx à sua altitude em centenas de pés. Esta altitude refere-se a um nível fictício utilizado como referência para uma pressão atmosférica padrão (QNE) de 1013.2 hPa [10].

### 2.1.3 Sistemas de auxílio ao ATM

Para a prestação dos serviços de ATM, além do próprio sistema de ATM são utilizados sistemas auxiliares de *Communications, Navigation and Surveillance* (CNS) (Figura 2.3). Estes remetem para os sistemas de comunicação, navegação e vigilância que são utilizados como ferramentas essenciais para garantir que os serviços de ATM são prestados de forma eficiente e segura [11].

Os sistemas de comunicação englobam todas as comunicações efetuadas na prestação dos ATS's, desde comunicações A/G com as aeronaves até às comunicações *ground-ground* (G/G) entre diversos postos terrestres. Os de navegação, por sua vez, referem-se aos instrumentos e sistemas utilizados para auxiliar o deslocamento das aeronaves no espaço aéreo. Finalmente, os sistemas de vigilância caracterizam-se por tecnologias que permitem fornecer aos CTA's informações precisas e regulares relativas à posição das aeronaves ao longo do seu percurso.

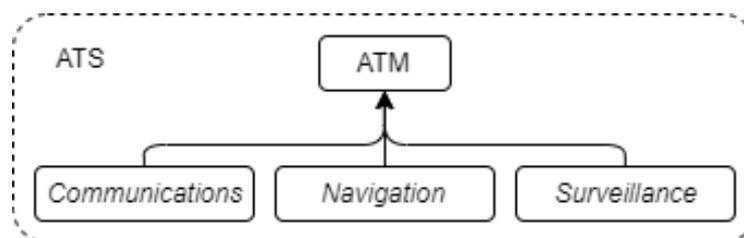


Figura 2.3 - Relação entre sistema ATM e sistemas CNS

Segundo [12], os sistemas de ATM e CNS encontram-se em constante evolução e caminham cada vez mais para a sua globalização. Promover um sistema global e transparente

dos serviços de ATM e CNS proporcionará diversos benefícios que permitirão lidar da melhor forma com o crescimento do tráfego aéreo.

No âmbito das comunicações, onde se enquadra esta dissertação, os avanços tecnológicos dos respetivos sistemas apontam para que:

- Ligações A/G e G/G sejam mais diretas e eficientes;
- Dados transmitidos sejam manuseados de melhor forma;
- Erros e congestão dos canais de comunicação sejam reduzidos;
- Exista interoperabilidade entre aplicações (capacidade de um sistema interagir e comunicar com outro);
- A carga de trabalho seja reduzida.

No sector da navegação aérea, existem diversas técnicas e ferramentas para a prestação dos ATS's. Diferentes ANSP's utilizam diferentes métodos e sistemas de CNS. No entanto, no âmbito deste projeto, serão focados os sistemas de apoio aos quais a NAV Portugal recorre.

## 2.2 Caracterização do Serviço Radar

O conceito Serviço Radar refere-se ao serviço de controlo de tráfego aéreo que a NAV Portugal presta na região do atlântico norte na FIR de Santa Maria. O Serviço Radar é tendencialmente prestado às aeronaves cujo percurso intersecte os limites da TMA dos Açores, seja no interior da mesma ou em níveis de sobrevoos.

Este serviço é prestado pelos Controladores de Tráfego Aéreo no Centro de Controlo Oceânico na Ilha de Santa Maria e representa um dos principais serviços de ATM prestados na região do atlântico. A Figura 2.4, adaptada do sistema ATM, mostra os limites da TMA no contexto da FIR de Santa Maria do ponto de vista dos CTA's.

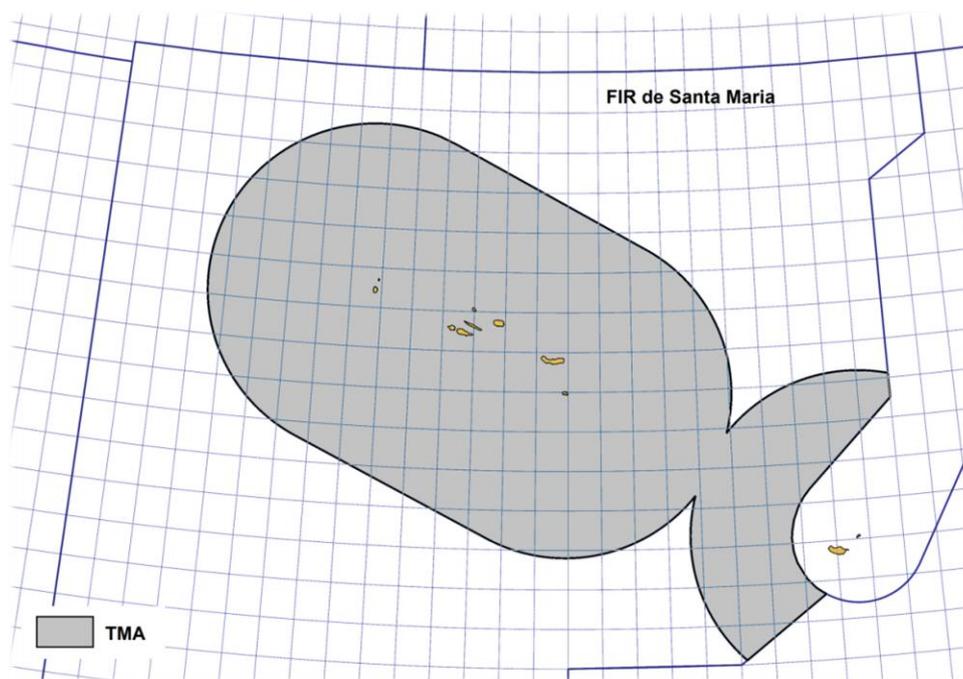


Figura 2.4 - TMA dos Açores no contexto da FIR

A principal característica que distingue o Serviço Radar de outros serviços de controlo aéreo na FIR de Santa Maria é o fato de o Serviço Radar possibilitar uma separação mínima (distância segura entre duas aeronaves) mais reduzida devido aos meios de CNS que este dispõe. Desta forma, o controlo de tráfego aéreo efetuado através do Serviço Radar promove um maior grau de eficiência e otimização do espaço aéreo. Para a prestação deste serviço são utilizados mecanismos apropriados de vigilância bem como de comunicações.

### 2.2.1 Cobertura de Vigilância

A cobertura de vigilância caracteriza-se pelo volume da FIR onde é possível, através de instrumentos de vigilância adequados, obter regularmente informações atualizadas e precisas da posição das aeronaves ao longo do seu deslocamento no espaço aéreo. A cobertura de vigilância está relacionada com os sistemas de vigilância, os quais cumprem um papel fundamental para a prestação de serviços de ATM. Na FIR de Santa Maria, a cobertura de vigilância é obtida através de três sistemas principais:

- *Secondary Surveillance Radar (SSR)*;
- *Automatic Dependent Surveillance (ADS)*;
- *MultiLateration (MLat)*.

A caracterização destes sistemas consta no Apêndice A - “Recursos utilizados na cobertura de vigilância”. Com estes sistemas, a cobertura de vigilância teórica obtida na FIR de Santa Maria é a ilustra na Figura 2.5, adaptada também do sistema de controlo de tráfego aéreo e da *Aeronautical Information Publication (AIP)* [13].

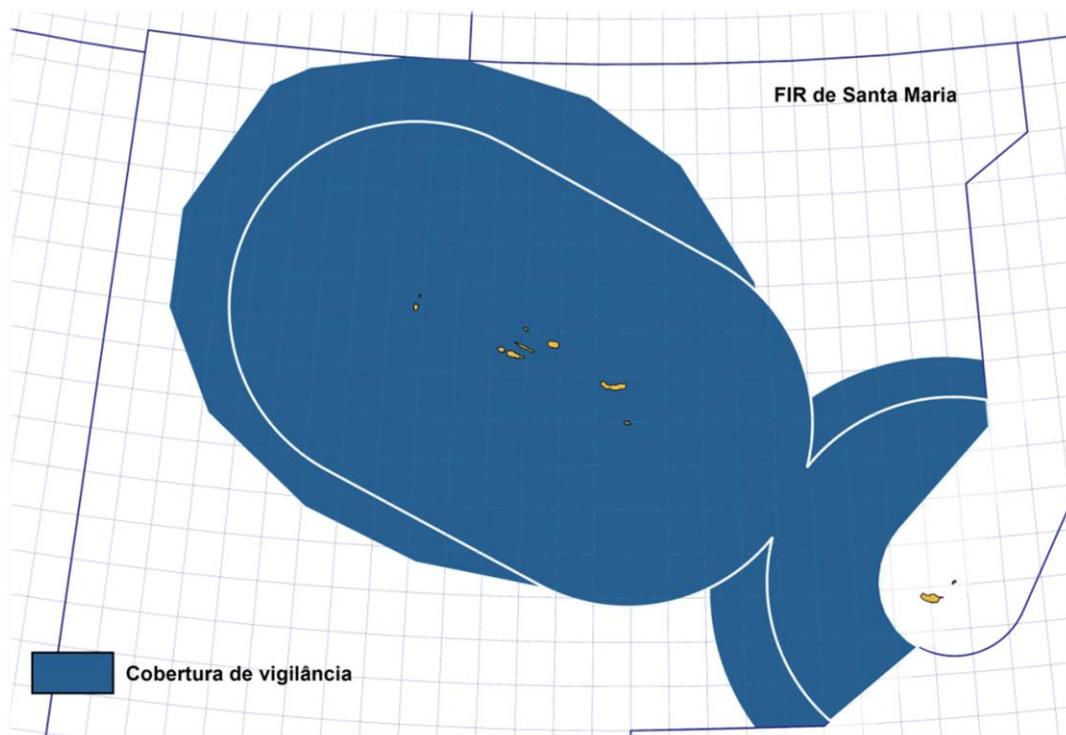


Figura 2.5 - Cobertura de vigilância na FIR de Santa Maria

## 2.2.2 Comunicações do Serviço Radar

Embora sejam utilizados diversos meios de comunicações aeronáuticas na prestação dos serviços de navegação aérea na FIR de Santa Maria, para prestação do Serviço Radar o meio de comunicação utilizado são as comunicações por rádio em VHF.

Desta forma, é proporcionada uma cobertura VHF que, por sua vez, caracteriza-se pelo volume da FIR onde é possível estabelecer uma comunicação VHF com uma aeronave. Para o efeito, esta cobertura é obtida através de três estações VHF distintas, as quais estão localizadas estrategicamente com o propósito de abranger uma maior área da FIR.

No arquipélago dos Açores, encontram-se duas estações VHF, nomeadamente na Ilha das Flores e na Ilha de Santa Maria. A terceira estação VHF encontra-se na Ilha do Porto Santo no arquipélago da Madeira. Embora esta última não se encontre dentro dos limites da FIR de Santa Maria, contribui para a prestação de cobertura VHF na FIR de Santa Maria.

Os níveis de cobertura teóricos publicados na AIP [14] para o nível de voo de referência FL300 encontram-se ilustrados na Figura 2.6.

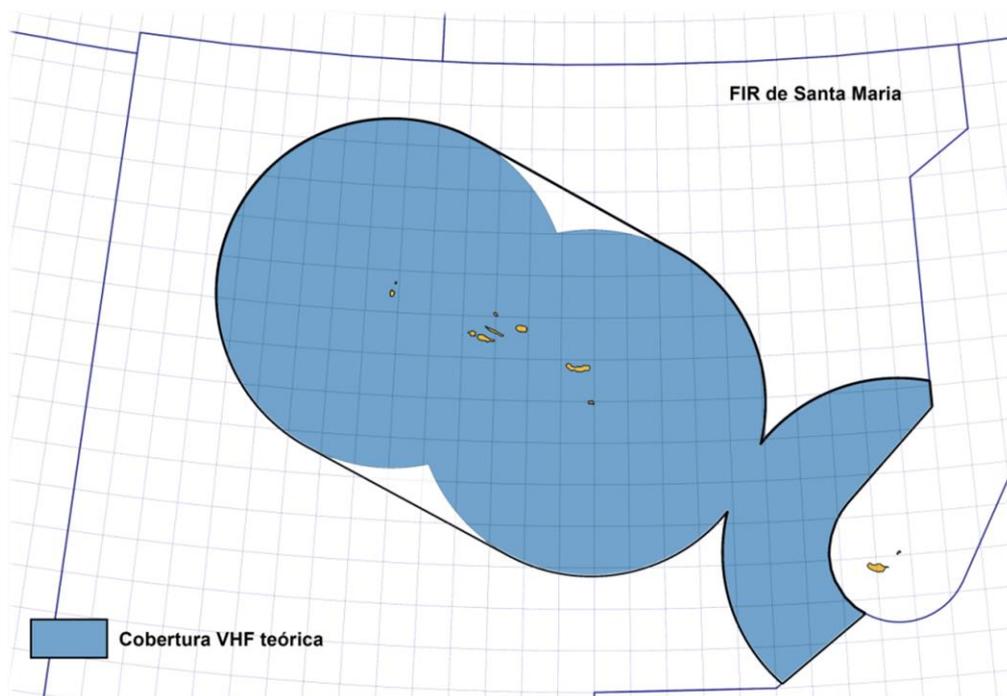


Figura 2.6 - Cobertura VHF teórica do Serviço Radar – FL300

Em zonas exteriores à cobertura de VHF disponibilizada, são utilizados meios alternativos de comunicações A/G. No entanto, nestas zonas não está a ser prestado o Serviço Radar. Os restantes meios de comunicação A/G utilizados podem ser consultados no Apêndice B – “Meios alternativos de comunicações A/G”.

### 2.2.3 Frequências VHF utilizadas no Serviço Radar

*Air-band* (ou *Aircraft Band*) diz respeito ao intervalo do espectro de frequências de rádio dedicadas para as comunicações da navegação aérea entre as estações terrestre e as aeronaves. Este grupo de frequências tem lugar no espectro VHF, mais concretamente entre os 118 MHz e os 137 MHz [15].

No caso concreto do Serviço Radar, as frequências utilizadas são as seguintes:

- **132.15 MHz** – Frequência primária;
- **129.4 MHz** – Frequência secundária;

Além destas, existe também a frequência de Emergência (**121.5 MHz**), a qual é comum a todos os serviços de navegação aérea prestados na FIR de Santa Maria.

Na Figura 2.7 é apresentado o ecrã interativo do *Voice Communication System* (VCS) que se encontra no Centro de Controlo Oceânico. Cada CTA dispõe de uma *interface* igual ao da referida figura na sua posição de trabalho, a partir do qual seleciona as frequências apropriadas para estabelecer uma dada ligação VHF com a aeronave.

132.150	Rx PA	Rx FLO	Rx PST	Rx TWR		
	Tx PA	Tx FLO	Tx PST	Tx TWR		
129.400	Rx PA	Rx FLO	Rx PST	Rx TWR		
	Tx PA	Tx FLO	Tx PST	Tx TWR		
121.5	Rx PA					
	Tx PA					
118.1	Rx TWR					
	Tx TWR					
119.1	Rx TWR					
	Tx TWR					

Figura 2.7 - Ecrã interativo de um CTA para escolher da frequência a utilizar

Ao analisar a Figura 2.7, conclui-se que as frequências inerentes ao Serviço Radar (132.15 MHz e 129.4 MHz) estão presentes nas estações base descritas anteriormente. “PA” refere-se à estação no Pico Alto (Santa Maria), “FLO” à da Ilha das Flores e “PST” à estação no Porto Santo. É também demonstrado que as frequências primária e secundária também estão presentes nos rádios VHF da Torre de Controlo de Santa Maria (TWR) por questões de redundância. Quanto à frequência de emergência, esta está implementada apenas na estação do Pico Alto.

## 2.2.4 Comunicações rádio entre um CTA e uma aeronave

A Figura 2.8 ilustra o funcionamento lógico das comunicações VHF por rádio entre um CTA e uma aeronave.

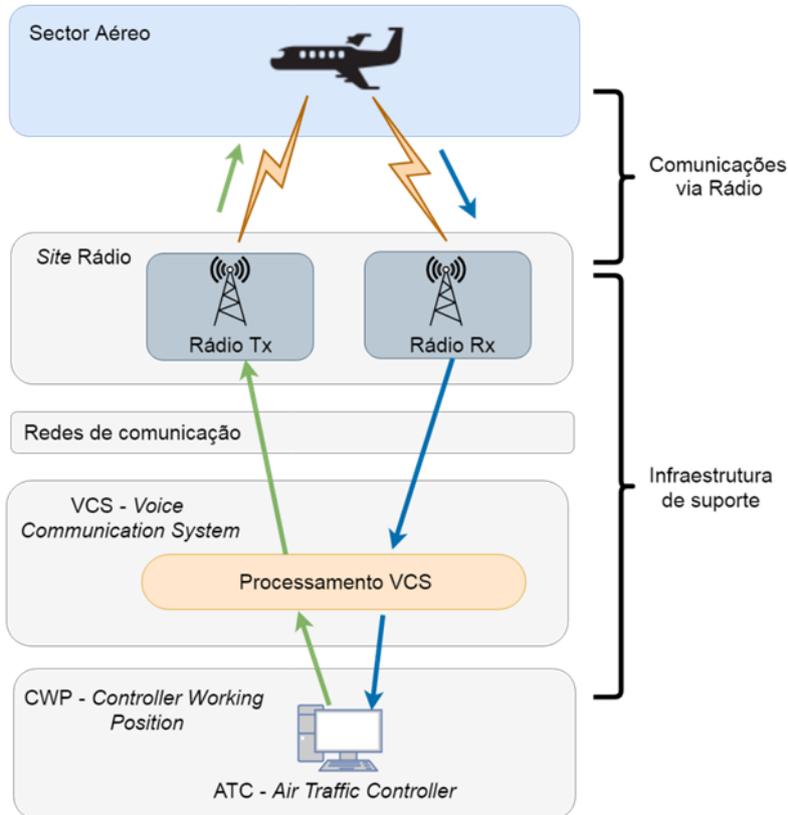


Figura 2.8 – Funcionamento lógico das comunicações do Serviço Radar

Como ilustrado na figura, do ponto de vista do CTA, os dados de voz são originados a partir da *Controller Working Position* (CWP) e direcionados para o VCS, no qual é efetuado o processamento dos mesmos.

Posteriormente, através de uma infraestrutura de telecomunicações adequada, é estabelecida uma ligação entre o equipamento VCS e os *sites* onde constam os equipamentos rádio. Todas as etapas entre o CTA e os equipamentos rádio constituem uma comunicação terrestre. A partir dos equipamentos rádio é então efetuada uma comunicação A/G com a aeronave. O percurso lógico das comunicações provenientes da aeronave em resposta ao CTA é semelhante, pelo que os sinais de voz são transmitidos da mesma forma, mas no sentido inverso.

Desta forma, é possível identificar duas componentes principais nas comunicações rádio entre o CTA e a aeronave, sendo elas a comunicação entre a estação base e a aeronave e a respetiva infraestrutura de suporte entre a estação base e o CTA.

### 2.2.5 Funcionalidades das comunicações VHF

A qualidade e a potência dos sinais de rádio entre as estações terrestres e as aeronaves são elementos variáveis dependendo das características do terreno e do sector de controlo aéreo em que se encontram [16]. Por esta razão, são utilizadas diversas estações base de forma a contornar as dificuldades que os fatores anteriormente descritos possam causar.

A utilização de diversas estações base permite a aplicação de diversas técnicas de comunicações aeronáuticas que auxiliam o estabelecimento de uma comunicação VHF entre um CTA e as aeronaves, nomeadamente:

- *Best Signal Selection (BSS)*;
- *Climax – Offset-carrier Operation*;
- Emissão Seletiva;
- Método Combinado (Climax e Emissão Seletiva);
- *Coupling*.

As referidas funcionalidades encontram-se caracterizadas no Apêndice C – “Funcionalidades das comunicações VHF”.

## 2.3 Estado da arte

### 2.3.1 Infraestrutura de suporte às comunicações de voz

Durante muitos anos que as comunicações de voz em ATM eram suportadas por mecanismos *Time Division Multiplexing / Pulse-Code Modulation (TDM/PCM)* analógicos. Hoje em dia, a tecnologia que define o estado da arte das comunicações de voz em ATM é o VoIP. Esta, como o próprio nome indica, é um protocolo de comunicações de voz através de IP que permite aos utilizadores efetuarem chamadas de voz através da banda larga de *Internet* ao invés de um sistema telefónico convencional/analógico.

Numa primeira abordagem, o grupo WG-67 (*Working group 67*) da EUROCAE, com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização de VoIP nos serviços de voz em ATM, definiu critérios, requisitos e diretrizes baseadas tanto em necessidades como restrições operacionais, nomeadamente:

- Requisitos técnicos e operacionais para sistemas de voz *ground-ground (G/G)* e A/G;
- Padrões de sinalização e protocolos IP para voz já existentes;
- Capacidades necessárias para uma rede IP suportar serviços de voz;
- Infraestruturas, protocolos e aplicações que vão de encontro à segurança e qualidade de serviço;
- *Interfaces* necessários para um sistema de voz à base de IP em ATM.

Como tal, de forma a ir ao encontro dos pontos mencionados, a EUROCAE definiu as regras e especificações técnicas para a implementação do VoIP nas operações de ATM que consideram:

- Requisitos do sistema e respetivos componentes relativos ao seu desempenho e segurança;
- Requisitos de interoperabilidade entre os sistemas de VoIP em ATM e os componentes IP;
- Requisitos de desempenho de uma rede IP para o suporte de VoIP em ATM;

Estas especificações foram publicadas pela EUROCAE através dos documentos:

- **ED-136** - VoIP ATM System Operational and Technical Requirements [17];
- **ED-137B** - Interoperability Standards for VoIP ATM Components;
  - Part 1: Radio [18];
  - Part 2: Telephone [19];
  - Part 3: Recording [20];
  - Part 4: Supervision [21];
- **ED-138** – Network Requirements and Performances for VoIP ATM Systems;
  - Part 1: Network Specification [22];
  - Part 2: Network Design Guideline [23].

os quais são utilizados tanto como referência para a caracterização do estado da arte bem como para a realização deste projeto.

As *interfaces* entre os diversos componentes devem garantir a sua funcionalidade e interoperabilidade. Estes componentes e *interfaces* foram definidos no acordo de Vienna (*Vienna Agreement*).

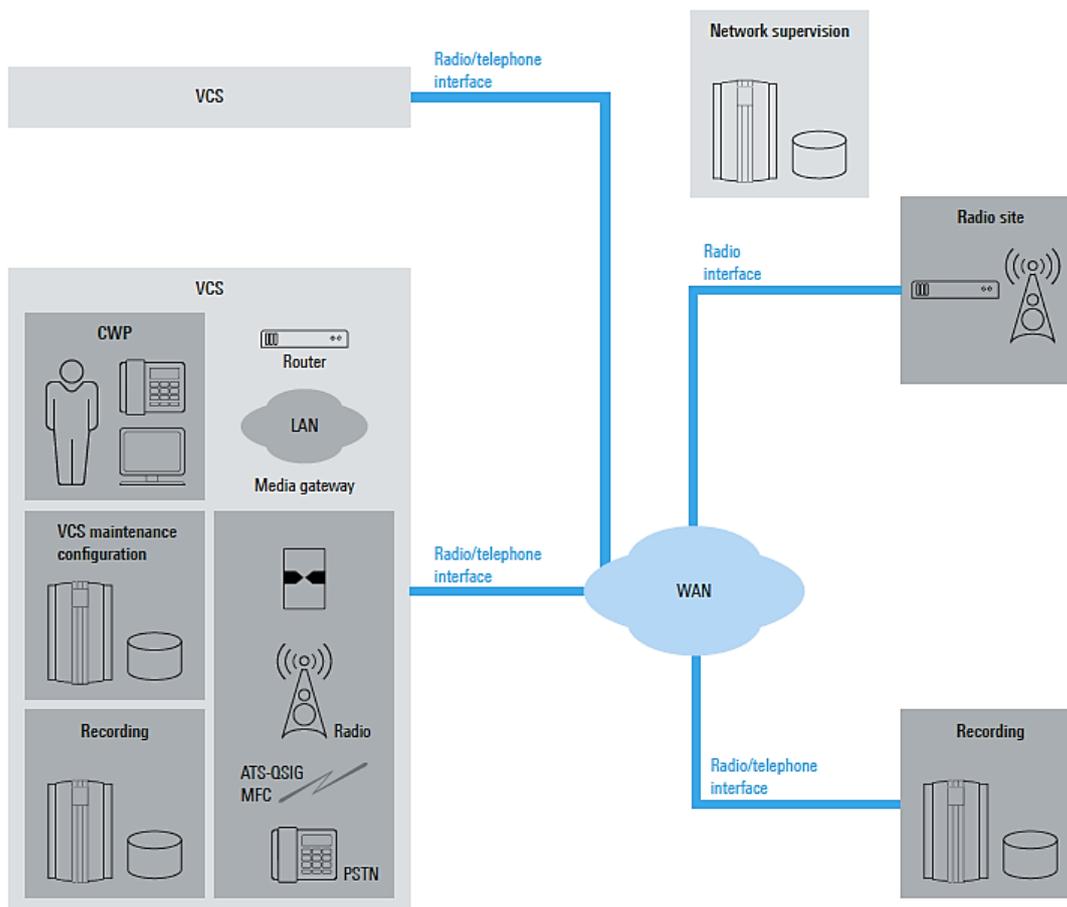


Figura 2.9 – Infraestrutura VoIP aplicada ao ATM

A Figura 2.9, adaptada dos referidos documentos da EUROCAE, visa ilustrar a grande mudança de paradigma e o que atualmente define o estado da arte da infraestrutura de comunicações entre sistemas. Como é observável, num determinado centro de controlo de navegação aérea, um equipamento VCS interliga todos recursos utilizados nas comunicações de voz do mesmo centro de controlo. Além do mais, através de uma infraestrutura de rede IP adequada e com a garantia de que todos os equipamentos são interoperáveis, cria-se um vasto leque de oportunidades para as entidades ANSP prestarem os seus serviços de forma mais eficaz, direta e segura entre si.

### 2.3.2 Migração para sistemas VoIP em ATM

Segundo [24], tanto as ANSP's como as entidades que promovem sistemas de comunicações aeronáuticas, já confirmaram que o protocolo VoIP definido pelo *Working Group 67* é de fato o caminho estratégico das comunicações por voz em ATM.

Ao longo do tempo têm sido realizados diversos testes relativos à interoperabilidade da tecnologia VoIP entre equipamentos de VCS, estações de rádio terrestres, telefones e sistemas de gravação. Na Europa, estes testes foram feitos pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) e nos Estados Unidos da América pela *Federal Aviation Administration* (FAA). Em ambas as ocasiões, os testes foram bem-sucedidos e concluiu-se que a tecnologia IP demonstra-se capaz de atender a todos os requisitos técnicos e operacionais relativamente às comunicações em ATM [24].

Como resultado, diversas ANSP's têm vindo a migrar gradualmente as suas infraestruturas de comunicações, introduzindo novas tecnologias nas suas redes de comunicações de ATM [24]. Estas comunicações são efetuadas à base de IP e requerem uma infraestrutura de rede adequada para a prestação de serviços quer de dados quer de voz.

### 2.3.3 Rede de comunicações

De acordo com [25], de forma a suportar as novas exigências operacionais e o novo estado da arte que define o VoIP como sendo *standard* nas comunicações ATM, diversas ANSP's sentem a necessidade de evoluir a sua infraestrutura de rede mantendo a continuidade, disponibilidade e resiliência dos seus serviços.

Como já foi referido, para a prestação dos serviços de ATM são utilizados diversos sistemas com diferentes funções (CNS). No que diz respeito às comunicações entre diferentes sistemas de CNS, o modelo tradicional utilizado até à data caracteriza-se por uma rede de comunicações que disponibiliza uma ligação dedicada a cada aplicativo. Esta abordagem tem-se demonstrado insuficiente visto que foi implementada como suporte a sistemas de ATM e CNS que hoje em dia são considerados obsoletos.

Considerando os avanços tecnológicos que ocorreram nas telecomunicações ao longo dos últimos tempos, deu-se uma mudança de paradigma relativamente ao que atualmente define o estado da arte de uma rede de comunicações adequada ao uso dos sistemas de ATM e CNS. Esta mudança de paradigma consiste na agregação de todos os sistemas inerentes à prestação dos serviços de ATM acomodando as questões de interoperabilidade entre os mesmos. Desta forma, torna-se possível que todos os sistemas ATM/CNS, aquando adaptados

para o funcionamento em IP, possam comunicar e interagir entre si de forma cooperativa. Este fator revolucionário abre um vasto leque de oportunidades para o desenvolvimento e implementação de novas funcionalidades que visam otimizar a prestação dos serviços de ATM.

Como suporte a esta mudança de paradigma, a solução definida no estado da arte de uma rede ATM caracteriza-se por uma única infraestrutura de rede IP de alta resiliência cujo funcionamento é baseado no conceito de *pool* de serviços, em que o encaminhamento dos dados seja efetuado pelo *Multiprotocol Label Switching* (MPLS).

Este novo modelo permite que ANSP's combinem vários serviços e sistemas críticos à sua missão, maximizando a sua eficiência operacional, promovendo uma redução de custos e elevando os níveis de resiliência e segurança. Além do mais, demonstra não só ser um modelo altamente escalável e pronto a acomodar as tecnologias da próxima geração como também capaz de prestar suporte às tecnologias ainda existentes (tais como TDM e outros sistemas de ATM/CNS *legacy*) permitindo uma migração suave para as novas tecnologias IP mantendo a continuidade dos serviços.

Este novo estado da arte, que define uma única rede IP que incorpora as comunicações entre todos os sistemas de forma interoperável representa uma disrupção do modelo tradicional utilizado até à atualidade. Com o *upgrade* para novas tecnologias IP suportadas por uma única rede IP, torna-se possível suportar de forma centralizada diversas aplicações inerentes aos serviços de ATM, o que inclui não só os equipamentos de voz como também outros instrumentos utilizados na operação (como por exemplo informações do radar). Esta mudança de paradigma também visa promover uma gestão centralizada dos sistemas e elevar o nível de escalabilidade e de desempenho de todo o sistema de forma a atender às novas demandas do mercado.



# **Capítulo 3**

## **Cobertura VHF suportada por uma rede IP para o uso de VoIP**

### 3.1 Metodologia

A abordagem adotada à realização deste projeto foi baseada no modelo das comunicações rádio entre um CTA e uma aeronave identificado na Figura 2.8. Esta metodologia tem como propósito explorar de forma mais aprofundada e identificar todas as oportunidades de melhoria nos diversos temas abordados.

Sendo assim, a realização deste projeto é dividida em três temas principais que abrangem os seguintes tópicos:

- Comunicações VHF do Serviço Radar;
- Implementação do VoIP nas comunicações A/G do Serviço Radar;
- Rede de comunicações de suporte aos serviços prestados.

Nas secções seguintes é efetuada uma descrição mais detalhada da metodologia adotada relativamente a cada um dos tópicos mencionados.

#### 3.1.1 Comunicações VHF do Serviço Radar;

Como já foi abordado, a prestação do Serviço Radar requer não só que os CTA's consigam obter informações relativas à posição das aeronaves através dos sistemas de vigilância como também consigam comunicar com as mesmas através de VHF.

Na Figura 3.1 é ilustrada a sobreposição da cobertura VHF teórica com a cobertura de vigilância, as quais já foram abordadas anteriormente na secção 2.2.1 e 2.2.2.

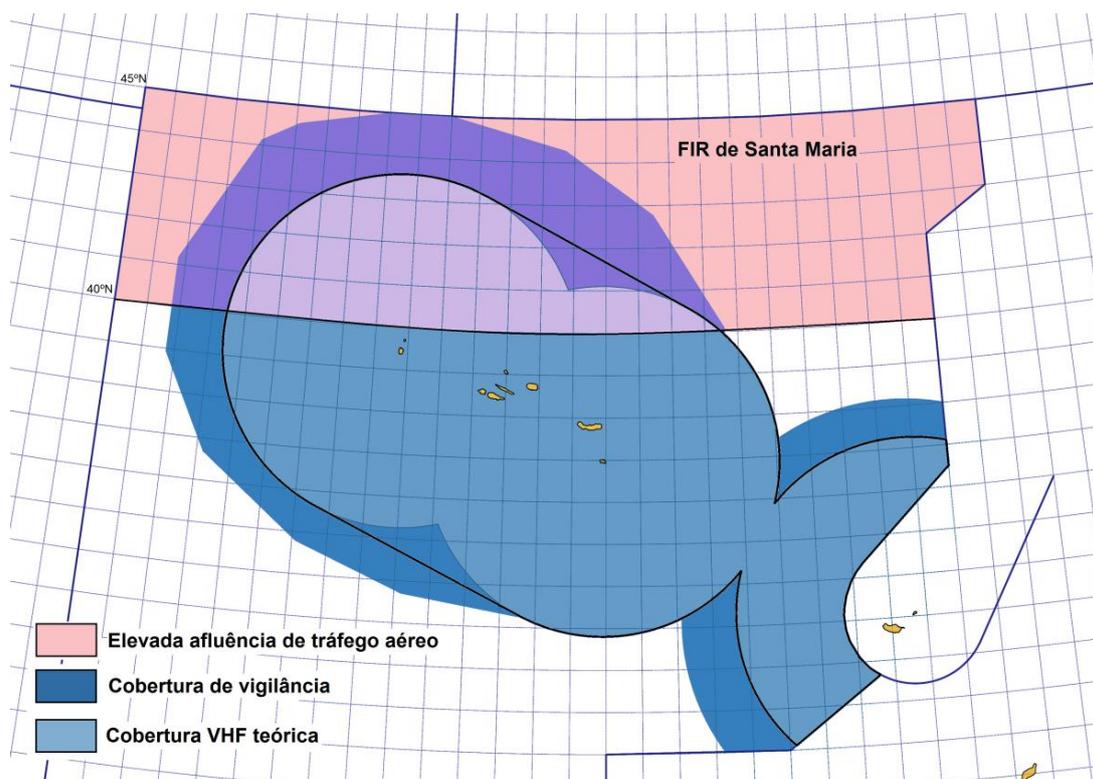


Figura 3.1 - Zonas de interesse de cobertura VHF (FL300)

Ao observar a Figura 3.1 conclui-se à partida que a cobertura de vigilância é superior à cobertura VHF pelo que existem diversas zonas onde os CTA's conseguem obter informações precisas da posição das aeronaves, mas não conseguem estabelecer uma comunicação VHF com as mesmas.

Além do mais, a Figura 3.1 ilustra uma das zonas de maior interesse (nomeadamente entre os 40° e os 45° de latitude) onde existe uma grande afluência de tráfego aéreo. As rotas predominantes que atravessam a FIR de Santa Maria podem ser consultadas no Anexo A – “Rotas predominantes na FIR de Santa Maria”.

Nesta zona, constam as rotas predominantes das aeronaves que cruzam o atlântico efetuando travessias entre a Europa e a América do Norte. A Figura 3.1 mostra também que, na referida zona, existe de fato cobertura de vigilância com meios próprios e independentes, pelo que é possível obter informações regulares das posições das aeronaves, mas não é possível estabelecer o contacto com as mesmas via VHF.

No âmbito das comunicações VHF, para efetuar uma prestação de excelência do Serviço Radar, é naturalmente necessário estabelecer comunicações VHF de qualidade com as aeronaves para o suporte deste serviço.

Desta forma, o objetivo passa por apresentar uma solução que permita disponibilizar uma cobertura VHF com qualidade que abranja não só as zonas publicadas na AIP como também zonas de maior afluência de tráfego. Nesta cobertura VHF, tal como também publicado na AIP, devem estar incluídas também as frequências inerentes à prestação do Serviço Radar: 132.15 MHz, 129.4 MHz e 121.5MHz.

Numa primeira etapa são estudadas todas as considerações necessárias à implementação de um parque de antenas adequado às comunicações aeronáuticas inerentes a este projeto a fim de compreender quais os aspetos principais que irão permitir ou impedir a concretização do objetivo.

Seguidamente, com base neste estudo, é efetuado um planeamento e projeção de um modelo ideal que permitirá acomodar os objetivos pretendidos. Este modelo será útil para posteriormente comparar com as soluções implementadas pela NAV Portugal e retirar conclusões relativamente aos resultados obtidos e, caso se verifique, apresentar possíveis soluções de melhoria que possam ser implementadas.

Esta etapa do projeto consta na secção 3.2 deste documento.

### 3.1.2 Implementação do VoIP nas comunicações A/G do Serviço Radar

Nesta segunda fase do projeto, serão exploradas as possibilidades e estratégias para introduzir o VoIP nos sistemas de voz inerentes ao Serviço Radar. Remetendo novamente para a Figura 2.8, sabe-se que para a prestação das comunicações A/G de voz via rádio são necessários:

- Rádios VHF.
- VCS – *Voice Communications System*;

Numa etapa primordial é abordada de forma genérica o funcionamento das comunicações VoIP entre estes equipamentos. Seguidamente, é efetuada contextualização dos equipamentos utilizados bem como as respetivas atualizações necessárias à introdução e estabelecimento de comunicações VoIP entre ambos os equipamentos.

Esta etapa do projeto consta na secção 3.3 deste documento.

### 3.1.3 Rede de comunicações de suporte aos serviços prestados

Embora nos casos anteriores tenham sido consideradas as questões inerentes à prestação do Serviço Radar, no caso concreto da rede de comunicações há que considerar que esta deve suportar não só o Serviço Radar, mas também todos os restantes serviços de navegação aérea prestados pela NAV Portugal na FIR de Santa Maria, seguindo as recomendações da European Union Aviation Safety Agency (EASA) para uma harmonização com o *New Pan European Network Services* (NewPENS) e o *System Wide Information Management* (SWIM).

Assim sendo, são consideradas as ligações existentes entre todos os órgãos (*sites*) da NAV inerentes a todos os serviços que são prestados na FIR de Santa Maria. Entre estes, estão incluídos todos os órgãos do DOPATL presentes nesta FIR (identificados na Tabela 1) como também alguns dos órgãos da DOPLIS inerentes à FIR de Lisboa (Tabela 2).

Tabela 1 - Órgãos do DOPATL: FIR de Santa Maria

Órgão	Designação	Localização
Santa Maria	SMA	Ilha de Santa Maria
Ponta Delgada	PDL	Ilha de São Miguel
Horta	HRT	Ilha do Faial
Flores	FLO	Ilha das Flores

Na FIR de Santa Maria, embora não seja um órgão da NAV Portugal, deverá ser considerada a ligação com LAJ (Lajes) na Ilha Terceira. Isto deve-se ao fato de, embora na Ilha Terceira os serviços ATM (como controlo de aproximação e aterragem) não serem prestados pela NAV, existe a necessidade de coordenar o tráfego aéreo com o CCO.

Tabela 2 - Órgãos da DOPLIS: FIR de Lisboa

Órgão	Designação	Localização
Lisboa	LIS	Portugal Continental
Porto Santo	PST	Ilha do Porto Santo

No panorama geral das comunicações inerentes a estes serviços existem ligações quer de voz quer de dados entre diversos *sites* mencionados anteriormente. A Figura 3.2 visa ilustrar de forma genérica as comunicações efetuadas no contexto das operações de navegação aérea na FIR de Santa Maria. Estas comunicações podem variar dependendo do *site* e dos serviços de navegação aérea a que este esteja associado.

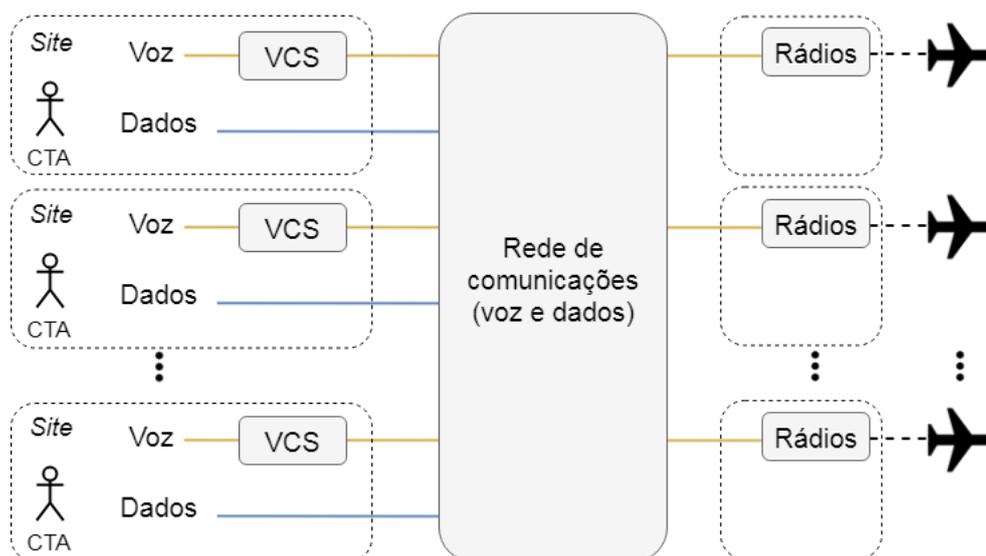


Figura 3.2 - Infraestrutura de telecomunicações de suporte aos serviços prestados

Relativamente às comunicações, são identificados tanto ligações de voz como ligações de dados.

Quanto às ligações de voz, além das comunicações A/G (entre um CTA e uma aeronave), existem também comunicações G/G de voz entre dois *sites* distintos. Em ambos os casos, após as comunicações de voz serem geradas e posteriormente processadas no VCS, são encaminhadas através da rede de comunicações até ao seu destino que pode ser tanto um equipamento rádio (do mesmo *site* ou de outro *site*) como também para outro posto operacional (como por exemplo outro controlador num *site* distinto).

Embora esta dissertação tenha um maior foco nas comunicações de voz, há que considerar que existem também ligações de dados entre os demais *sites*, as quais são fulcrais na prestação dos serviços de navegação aérea. Para a partilha de dados entre diversos *sites* existem ligações digitais entre ambos através da mesma rede de comunicações.

Saber à partida que o estado da arte de uma rede de comunicações em ATM caracteriza-se por uma infraestrutura única de alta resiliência baseada em IP/MPLS não é suficiente. Para garantir que esta rede de comunicações é de fato adequada ao uso operacional, existe um vasto conjunto de requisitos que a mesma deve cumprir.

Desta forma, numa primeira etapa a esta fase do projeto, é identificado o ambiente regulatório e de *guide-lines* referente à rede de comunicações ATM. O passo seguinte consiste na compilação dos documentos inerentes ao ambiente regulatório numa única lista de requisitos que a rede de comunicações deve cumprir.

Posteriormente, é efetuada uma contextualização da rede de comunicações atualmente disposta de forma a compreender os seus princípios e modo de funcionamento. Com base nesta análise, é apresentada uma solução para a rede de comunicações de alta resiliência que não só suporte as necessidades atuais, mas como também as possíveis necessidades futuras, promovendo uma rede de comunicações ATM que permita sustentar as novas tecnologias adequadas à prestação dos serviços de navegação aérea.

Esta etapa do projeto consta na secção 3.4 deste documento.

## 3.2 Upgrade da cobertura VHF do Serviço Radar

### 3.2.1 Considerações prévias à implementação de um parque de antenas

De forma a possibilitar uma comunicação VHF viável entre uma estação base e uma aeronave (que permita não só um alcance satisfatório como também bons índices de qualidade de sinal) devem ser considerados diversos fatores aquando da implementação do respetivo parque de antenas.

No âmbito das comunicações por frequências rádio, existem vários fenómenos inerentes à sua propagação, de entre os quais a atenuação, reflexão, refração, difração e absorção. Do ponto de vista de um parque de antenas adequado ao uso, os fatores chave a considerar remetem para a sua localização e implementação.

As considerações relativas à localização (e respetiva topografia do terreno) são as mais importantes no que diz respeito à possibilidade de estabelecer uma comunicação VHF com uma aeronave. Isto porque, para a gama de frequências deste projeto, a comunicação entre dois pontos é predominantemente em linha de vista. Numa etapa posterior, onde será validado o desempenho do parque de antenas serão tidas as restantes considerações relativas à propagação das ondas VHF de acordo com o modelo utilizado.

Para que o sinal transmitido alcance as aeronaves de forma “alto e claro”, ou seja com uma boa amplitude e uma relação sinal/ruído favorável, existem diversos aspetos a considerar aquando a implementação de um parque de antenas, nomeadamente:

- Potência radiada efetiva (*Effective Radiated Power* – ERP), que inclui fatores como os ganhos ou as perdas do sistema;
- Isolamento entre antenas: o qual diz respeito a possíveis interferências entre canais.

Este estudo prévio ao planeamento de uma solução modelo que se aplique ao objetivo em questão pode ser consultado no Apêndice D – “Considerações prévias à implementação de um parque de antenas”.

### 3.2.2 Planeamento e modelo

Nesta secção serão exploradas as questões relativas ao planeamento dos mecanismos necessários para cumprir os objetivos identificados anteriormente.

#### 3.2.2.1 Estações VHF necessárias e respetivas localizações

Considerando a Figura 3.1, são necessárias as estações existentes nas três ilhas já referidas, nomeadamente Santa Maria, Flores e Porto Santo (secção 2.2.2). Além destas, é necessário a existência de uma quarta estação base que permita abranger áreas de interesse (também identificadas na Figura 3.1) que contém cobertura de vigilância, mas que não são cobertas por VHF.

Considerando a localização das diversas ilhas do arquipélago dos Açores, é evidente que a ilha mais promissora para a implementação de um novo parque de antenas é a Ilha Terceira.

Estando definidas as ilhas onde os parques de antenas devem constar, o próximo passo consiste em identificar, para cada ilha, quais os locais privilegiados tendo em conta as considerações de localização e topografia do terreno.

Após uma análise topográfica das ilhas em questão (a qual pode ser consultada no Anexo B – “Locais privilegiados à implementação de um parque de antenas”), conclui-se que os locais apropriados para a implementação são os identificados na Tabela 3 visto serem os pontos de maior altitude de cada ilha e sem obstáculos em redor:

Tabela 3 - Locais privilegiadas à implementação de um parque de antenas VHF

Ilha	Localização	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
Santa Maria	Pico Alto	36° 58' 46,4''N	25° 05' 27,4'' W
Flores	Morro Alto	39° 27' 48''N	31° 13' 12'' W
Terceira	Serra de Santa Bárbara	38° 43' 47,1''N	27° 19' 07'' W
Porto Santo	Pico do Facho	33° 05' 03''N	26° 19' 28,9'' W

### 3.2.2.2 Implementação das estações

Em termos de equipamentos, por cada canal VHF utilizado no Serviço Radar são necessários:

- Quatro equipamentos rádio;
  - Dois de Emissão (*main* e *backup*)
  - Dois de Receção (*main* e *backup*)
- Duas antenas VHF (uma *main* e outra *backup*) capazes de acomodar as frequências utilizadas;
- Equipamentos inerentes à ligação das antenas aos rádios (cablagem).

### 3.2.2.3 Características dos equipamentos

Dada a grande variedade de antenas existentes no mercado, surge a necessidade de identificar quais as características principais a considerar na escolha das antenas a implementar. Dadas as circunstâncias do projeto, a escolha das antenas deve ser efetuada tanto em função da adaptação com o restante sistema como também das condições físicas e ambientais a que estas irão estar sujeitas.

De forma a obter uma solução viável que proporcione um bom desempenho, é sugerido que as antenas a implementar se enquadrem nos requisitos técnicos da Tabela 4.

Tabela 4 - Requisitos técnicos das antenas

Parâmetro	Valor
Faixa de Operação	118 – 133 Mhz
Impedância nominal	50 $\Omega$
Tipo de radiação	Omnidirecional
Polarização	Vertical
Ganho passivo	3 dBd
Potência suportada	$\geq 100$ W
Máxima velocidade do vento	200 Km/h

Em termos de equipamentos auxiliares (tais como a cablagem associada e os respetivos conetores), é sugerida a implementação de material cuja introdução de perdas no sistema seja a mínima possível. Embora as interferências que ocorrem na propagação destas frequências VHF sejam mínimas, a colocação de filtros de receção é algo a considerar tendo em conta que se poderá obter ainda uma melhor relação sinal/ruído.

### 3.2.3 Contextualização do sistema atual

#### 3.2.3.1 Localizações dos parques de antenas atuais

Relativamente aos mecanismos de comunicação VHF para a prestação do Serviço Radar, a solução implementada inicialmente pela NAV Portugal recorre apenas de três estações VHF nos locais identificados na Tabela 5:

Tabela 5 - Localizações dos parques de antenas VHF atuais

Ilha	Localização	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
Santa Maria	Pico Alto	36° 58' 46,4''N	25° 05' 27,4'' W
Flores	Pico dos Sete Pés	39° 27' 12,9''N	31° 12' 37,5'' W
Porto Santo	Pico do Facho	33° 05' 03''N	26° 19' 28,9'' W

#### 3.2.3.2 Equipamentos do sistema atual

Em termos de equipamentos, em cada estação constam:

##### Estação do Pico Alto:

- Cinco canais VHF, onde estão instaladas as frequências:
  - 121.5 MHz (Emergência);
  - 125.1 MHz (VOLMET);
  - 127.9 MHz (OCL);
  - 132.15 MHz (Frequência primária do Serviço Radar);
  - 129.4 MHz (Frequência secundária do Serviço Radar).

- Dezoito Rádios VHF da JOTRON (Dez do modelo TA-7650 mais oito RA-7203).
  - Por cada frequência existem dois pares de rádios Tx e Rx (*main e backup*) com a exceção da VOLMET que apenas conta com dois rádios Tx.
- Dez antenas omnidirecionais *Sinclair* SC272-SF1SNF (com 0dB de ganho);
  - Por cada frequência existe um par de antenas (principal e de resiliência).

### Estação do Pico dos Sete Pés:

- Três canais VHF, onde estão instaladas as frequências:
  - 132.15 MHz (Frequência primária do Serviço Radar);
  - 129.4 MHz (Frequência secundária do Serviço Radar);
  - 118.8 MHz (APP).
- Doze Rádios VHF da JOTRON (Seis do modelo TA-7650 mais seis RA-7203).
  - Por cada frequência existem dois pares de rádios Tx e Rx (*main e backup*).
- Seis antenas omnidirecionais *Sinclair* SC272-SF1SNF (com 0dB de ganho);
  - Por cada frequência existe um par de antenas (principal e de resiliência).

### Estação do Pico do Facho:

- Dois canais VHF, onde estão instaladas as frequências:
  - 132.15 MHz (Frequência primária do Serviço Radar);
  - 129.4 MHz (Frequência secundária do Serviço Radar).
- Oito Rádios VHF da JOTRON (Quatro do modelo TA-7650 mais quatro RA-7203).
  - Por cada frequência existem dois pares de rádios Tx e Rx (*main e backup*).
- Quatro antenas direcionais Yagi (Skymasts S.6Y) que focalizam a energia na direção noroeste com 8.5 dB de ganho;

Mais detalhes sobre as antenas utilizadas na cobertura VHF podem ser encontrados em:

- Anexo D – “Ficha técnica: Sinclair SC272-SF1SNF”
- Anexo E – “Ficha técnica: Skymasts S.6Y”.

### 3.2.3.3 Desempenho do sistema atual

Com base na utilização do sistema atual, são identificados os valores do alcance das comunicações VHF para o nível de voo de referência FL300 (Tabela 6). Estes valores refletem o pior caso, ou seja, o alcance mínimo conseguido que é sempre garantido com o sistema inicial e que permitem uma comunicação viável com uma aeronave. É de salientar que dados exibidos de seguida podem conter uma ligeira margem de erro de  $\pm 5$  milhas náuticas, normalmente referidas por *nautical miles* (NM).

Tabela 6 - Comunicações VHF garantidas com o sistema inicial

Estação	Pico Alto	Pico dos Sete Pés	Pico do Facho
Alcance [NM]	160 $\pm$ 5	250 $\pm$ 5	265 $\pm$ 5

### 3.2.4 Problemas identificados

Sendo esta a solução utilizada diariamente pelos CTA's, são já conhecidos diversos problemas nas comunicações VHF disponibilizadas pelas estações existentes, nomeadamente na do Pico Alto (Ilha de Santa Maria) e na do Pico dos Sete Pés (Ilha das Flores).

#### 3.2.4.1 Estação do Pico Alto

No caso do Pico Alto, a cobertura VHF encontra-se degradada no sentido em que não só o alcance é muito aquém do esperado (seria esperado pelo menos 250 NM de acordo com o publicado na AIP) como também se verificam interferências entre canais aquando do estabelecimento de comunicações A/G.

Após uma análise mais pormenorizada do problema, é possível identificar as causas do mesmo, nomeadamente:

- **Elevada degradação das antenas:** causada não só pela exposição a longo prazo às condições meteorológicas do local, mas como também à grande proximidade com o equipamento SSR que se encontra no Pico Alto. Como é observável na Figura 3.3 as antenas estão colocadas no varandim do SSR e expostas a elevadas radiações provenientes do mesmo.
- **Isolamento inadequado entre antenas (1,5m):** a reduzida separação entre as antenas é insuficiente o que resulta em interferências entre canais (também visível na Figura 3.3)
- **Degradação de outros equipamentos de rádio frequências (RF):** como cablagem e calhas.



*Figura 3.3 – Antenas VHF no varandim do sistema SSR (Estação Pico Alto)*

#### 3.2.4.2 Estação do Pico dos Sete Pés

Relativamente à estação VHF da Ilha das Flores, são alcançadas com qualidade as 250 NM publicadas na AIP na maioria das regiões ao seu redor. No entanto, existe uma falha significativa na cobertura disponibilizada por esta estação, maioritariamente notória na direção noroeste da mesma. Esta falha reflete um problema de localização da estação que

acontece devido à existência de um objeto natural (Montanha do Morro Alto), o qual dificulta a propagação das ondas VHF na direção noroeste.

### 3.2.4.3 Estação do Pico do Facho

O excerto da AIP (Figura 2.6) remete para uma cobertura conseguida através de antenas omnidirecionais, a qual é adotada no modelo inicialmente proposto. Como referido anteriormente, no sistema atualmente implementado, a estação do Pico do Facho conta com antenas direcionais direcionadas para Santa Maria. Esta solução, à partida, não abrange a área sugerida na AIP. Todavia, como ilustrado na Figura 3.4, é suficiente para abranger as regiões de interesse: rotas entre o arquipélago da Madeira e o arquipélago dos Açores.

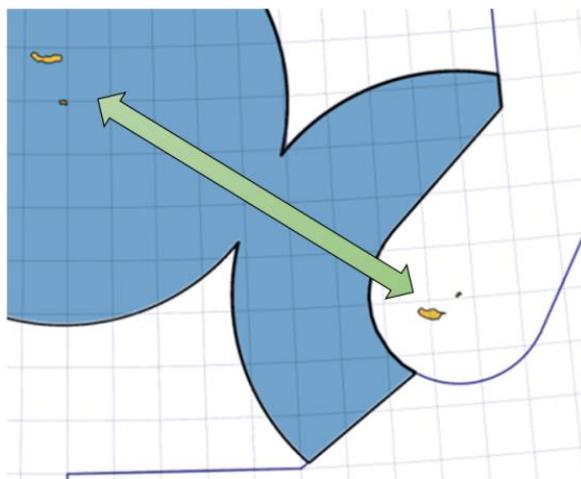


Figura 3.4 - Tráfego aéreo entre o Arquipélago dos Açores e o da Madeira

Desta forma, o fato de estar implementado um parque de antenas direcionais na estação do Pico do Facho não será considerado como problema. No entanto, o fato de neste parque de antenas não conter meios para disponibilizar uma cobertura VHF da frequência de Emergência (121.5 MHz) deverá ser considerado.

### 3.2.5 Soluções técnicas propostas

Com base no modelo definido para um parque de antenas adequado ao uso e nas implementações existentes, as soluções propostas são as seguintes:

#### 3.2.5.1 Reestruturação do parque de antenas do Pico Alto

No caso da estação do Pico Alto, a solução para os constrangimentos encontrados passa por uma reestruturação do parque de antenas existente. Nesta reestruturação, a substituição das antenas existentes é algo inevitável dado o elevado grau de degradação das antenas atuais. A escolha das novas antenas deverá respeitar os requisitos identificados na Tabela 4. Os restantes equipamentos, como cabos RF e conetores deverão ser também escolhidos de forma a minimizar as perdas introduzidas no sistema.

Em termos de localização do parque de antenas, identifica-se o Pico Alto como o local ideal visto ser o ponto mais alto da Ilha de Santa Maria e com vista direta em todo o seu redor. No entanto, a instalação das antenas no varandim do equipamento SSR não é viável. Desta forma, as novas antenas devem ser colocadas em locais estratégicos na área disponível de forma a manter um certo afastamento do sistema SSR.

Além do mais, para a mitigação de interferências entre canais, as antenas devem manter uma distância entre si de forma a promover o isolamento entre as mesmas como calculado no Apêndice D – “Considerações prévias à implementação de um parque de antenas”.

### 3.2.5.2 Relocalização do parque de antenas da Ilha das Flores

Uma vez que os constrangimentos encontrados nas comunicações VHF do Pico dos Sete Pés devem-se a um problema de localização do parque de antenas, a solução passa por uma relocalização do mesmo. Como já foi previamente identificado, a localização ideal para um parque de antenas na Ilha das Flores é o Morro Alto (ver Anexo B – “Locais privilegiados à implementação de um parque de antenas”).

Para uma migração viável da localização do referido parque de antenas, há que considerar as necessidades de continuidade de prestação dos serviços. Desta forma, somente depois da total implementação de um novo parque de antenas no Morro Alto é que o parque de antenas do Pico dos Sete Pés deve ser descontinuado.

Na implementação de um novo parque de antenas, sugere-se a implementação de antenas que se enquadram nos requisitos técnicos definidos na Tabela 4 e que seja considerado um isolamento adequado entre as mesmas. Caso surja a necessidade de implementar nova cablagem e restantes materiais associados, sugere-se a utilização de material de baixas perdas.

Finalmente, a implementação da frequência de Emergência 121.5 MHz também é algo a considerar visto que esta apenas se encontra implementada na estação do Pico Alto.

### 3.2.5.3 Implementação de um parque de antenas na Ilha Terceira

Na Ilha Terceira, a localização mais promissora para a implementação do parque de antenas é a Serra de Santa Bárbara (Figura 3.5) uma vez que é o ponto de maior altitude da ilha ( $\approx 1020$  metros acima do nível do mar) e de já lá existir um perímetro dedicado a instalações de antenas. Aquando da implementação deste parque antenas é essencial ter os cuidados necessários relativamente ao isolamento entre antenas.

Na implementação de um parque de antenas na Ilha Terceira devem ser considerados os equipamentos necessários a possibilitar comunicações VHF nas frequências inerentes ao Serviço Radar (132.15 MHz e 129.4 MHz) e na frequência de Emergência (121.5 MHz). Para tal, devem ser considerados equipamentos com as características já referidas nos casos anteriores.



Figura 3.5 - Localização sugerida: Serra de Santa Bárbara, Ilha Terceira

### 3.3 Comunicações A/G por VoIP do Serviço Radar

#### 3.3.1 Princípios de comunicação VoIP entre o VCS e os rádios VHF

De acordo com o documento ED-137B da EUROCAE ([18]), para o estabelecimento de comunicação entre o VCS e os equipamentos rádio são utilizados dois protocolos base destinos: *Session Initiation Protocol* (SIP) e *Real-time Transport Protocol* (RTP). Enquanto o SIP tem o objetivo de inicializar um *link* entre o VCS e o equipamento rádio, o RTP tem a funcionalidade de efetuar a transmissão dos pacotes de áudio entre os mesmos em tempo real.

O SIP é um protocolo de sinalização da camada de aplicação que utiliza o modelo “pedido-resposta” para estabelecer uma conexão. Este protocolo é utilizado para criar, modificar e terminar sessões entre dois ou mais participantes.

Relativamente às mensagens SIP, estas são compostas por um cabeçalho (*header*), podendo este ser acompanhado de conteúdo (*body*). As mensagens SIP cujo *body* contenha informação relativa à sessão, informação temporal e informação de mídia são codificadas através do *Session Description Protocol* (SDP). Desta forma, a negociação dos parâmetros para o estabelecimento da sessão é efetuada através do SDP, o qual é caracterizado por um formato para descrever parâmetros de comunicações mídia por *streaming*.

O RTP, por sua vez, é um protocolo que opera na camada de transporte (quarta camada do modelo OSI) e é utilizado em aplicações realizadas em tempo real, efetuando a entrega de pacotes ponto-a-ponto. Este protocolo permite que seja atribuído um fluxo independente de transmissão a cada fonte. Em auxílio ao protocolo RTP, o *Real-time Transport Control Protocol* (RTCP), efetua uma transmissão periódica de pacotes de controlo entre os diversos participantes da sessão permitindo um controlo de fluxo e de congestionamento.

Uma extensão do cabeçalho de um pacote RTP (*Real-time Transport Protocol Header Extension*) é utilizada para o transporte de mensagens de sinalização em tempo real, tais como:

- *Push To Talk* (PTT);
- *Aircraft Call* (A/C call), também referida como SQUELCH;

- Índice de qualidade – utilizado na função de BSS;
- Informações de marca temporal – utilizadas em aplicações Climax;
- Mensagens *Keep Alive* – R2S;

O estabelecimento de comunicação entre o VCS e equipamento de rádio pode ser realizado de duas formas distintas, dependendo se é um rádio individual que dispõe de canais de transmissão e receção (Tx/Rx) ou se são dois rádios distintos, um para transmissão e outro para receção.

A Figura 3.6 ilustra o primeiro caso. Numa primeira fase, uma sessão SIP é inicializada com origem no VCS e são definidos os parâmetros a serem utilizados durante a sessão. Posteriormente (segunda fase), é utilizado o protocolo RTP para transportar o áudio enquanto as extensões de cabeçalho do RTP devem ser utilizadas para transmitir sinais de PTT do VCS para os rádios e de A/C Call e BSS dos rádios para o VCS. Posteriormente, o *link* entre o VCS e o rádio é mantido através do mecanismo de “*keep alive*” do RTP.

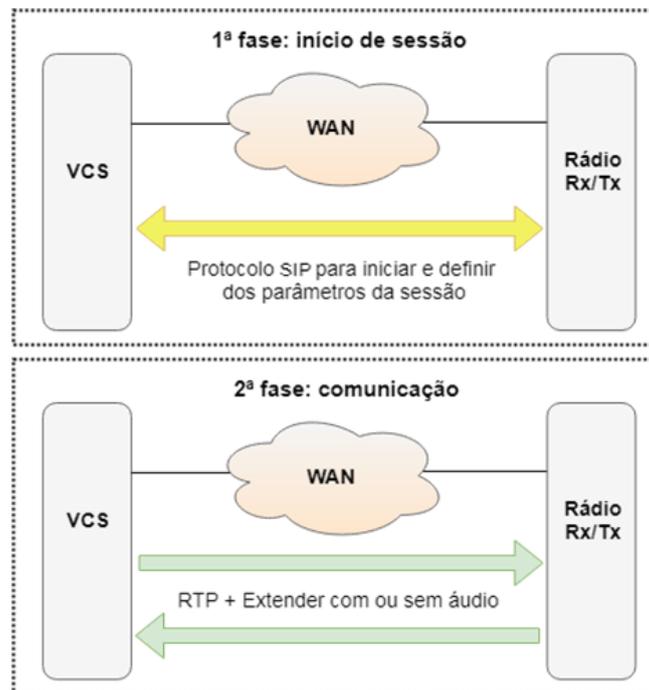


Figura 3.6 - Estabelecimento de ligação entre VCS e rádio Tx/Rx

Na situação em que são utilizados um transmissor e um recetor em separado (Figura 3.7), é iniciada a comunicação entre o VCS e ambos os rádios através do protocolo SIP, com origem no VCS. Numa segunda etapa, cabe ao RTP efetuar o transporte de áudio e à sua extensão de cabeçalho controlar o *link* entre o VCS e o rádio através do mecanismo “*keep alive*”. O RTP também é utilizado para transportar a sinalização de PTT para o equipamento transmissor de forma unidirecional e para transmitir ao VCS a sinalização relativa ao BSS e ao A/C Call (ou SQUELCH) originada no recetor. Nestes casos, é utilizada a extensão de cabeçalho de um pacote RTP com a informação de sinalização, pelo que este pacote não irá conter áudio.

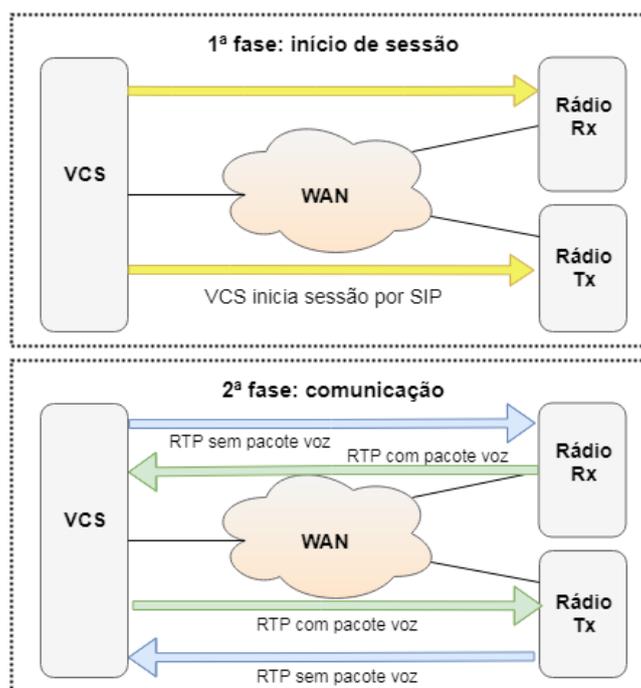


Figura 3.7 - Estabelecimento de ligação entre o VCS e rádios Tx e Rx distintos

Embora estabeleça uma sessão, o SIP não dispõe de nenhum mecanismo que permita monitorizar o *status* da mesma. Sem nenhum mecanismo apropriado, não é possível que um *endpoint* da ligação distinga se não está a receber pacotes porque o emissor não enviou ou se os pacotes foram perdidos.

Desta forma, a cada sessão é adicionado o R2S (*Real Time Session Supervision*) o qual permite a um *endpoint* ter conhecimento do estado do seu par, contribuindo assim para a deteção de falhas na ligação. Este processo é efetuado através da troca periódica de mensagens de sinalização *keep alive* entre os diversos pares.

### 3.3.2 Standards de interoperabilidade VoIP: VCS – Rádios VHF

Na secção anterior foram abordados os princípios base de uma comunicação por VoIP entre um sistema de VCS e um equipamento rádio. No entanto, há que considerar que, tal como abordado na secção 2.3.1, a grande vantagem de introduzir o VoIP nas comunicações é a possibilidade de promover a interoperabilidade entre equipamentos de forma flexível e dinâmica. Como tal, e como já foi referido, foram definidos *standards*, especificações e requisitos para esta interoperabilidade seja assegurada e a comunicação entre equipamentos seja feita de forma segura.

No caso concreto deste projeto, para a prestação do Serviço Radar, os *standards* de interoperabilidade a focar encontram-se publicados no documento **ED-137B - Interoperability Standards for VoIP ATM Components: Part 1 - Radio** da EUROCAE ([18]);

Desta forma, é crucial que tanto o equipamento VCS como os diversos rádios utilizados possuam capacidades para suportar os requisitos definidos no referido documento.

### 3.3.3 Migração para sistemas VoIP

Para que as comunicações A/G do Serviço Radar sejam efetuadas por VoIP, é necessário que os equipamentos inerentes às mesmas não só suportem o VoIP, mas como também que cumpram com todos os requisitos e normas definidas pela EUROCAE.

Da mesma forma que as ANSP's, os fabricantes de produtos relacionados com o ATM também estão cientes da migração para novas tecnologias VoIP. Sendo assim, os diversos sistemas inerentes à operação têm vindo a ser atualizados de forma a acompanhar as novas evoluções.

Do ponto de vista das ANSP's, a solução passa por atualizar e/ou adotar novos sistemas e mecanismos que permitem o estabelecimento de comunicações VoIP de acordo com as especificações definidas no ambiente regulatório.

#### 3.3.3.1 Equipamentos Rádio VHF

Quanto aos equipamentos rádio, estes já foram mencionados no capítulo anterior:

- JOTRON (TA-7650, RA-7203), ilustrados na Figura 3.8.

Estes equipamentos rádio são independentes no sentido em que é utilizado um para emissão e outro para receção dos sinais de voz, o que remete para o caso ilustrado na Figura 3.7.



Figura 3.8 - Rádios VHF da JOTRON (TA-7650, RA-7203)

Em função da migração para as novas soluções VoIP, a JOTRON disponibilizou um módulo VoIP possibilitando que as ANSP's que recorrem aos seus produtos realizem um *upgrade* aos equipamentos rádio ao invés da sua substituição. Tendo em consideração que a NAV recorre aos rádios JOTRON mencionados, a aquisição deste módulo é a solução mais viável no que toca à implementação do VoIP nos seus equipamentos rádio. Além de permitir a utilização de VoIP como pretendido, permite também que o acesso à rede e respetiva comunicação com os restantes equipamentos seja efetuada IP como ilustrado na Figura 3.9.

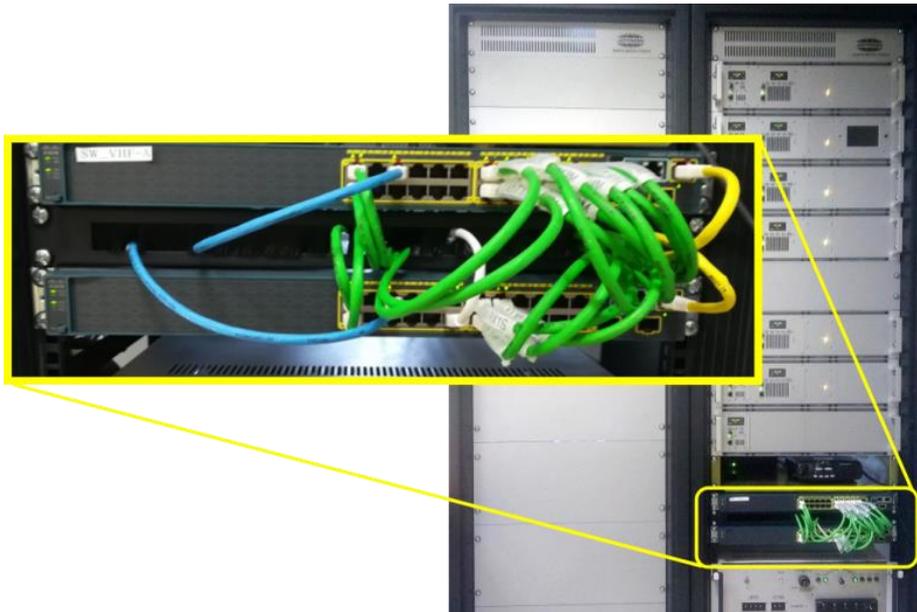


Figura 3.9 - Rádios VHF JOTRON: Acesso à rede via IP

### 3.3.3.2 Equipamento VCS – Voice Communications System

Relativamente ao equipamento VCS, ponto central de processamento das comunicações de voz, até a data foi utilizado o VCS da DENRO ilustrado na Figura 3.10. Ao contrário dos equipamentos rádio referidos, que são utilizados apenas na prestação do Serviço Radar, o equipamento VCS suporta todas as comunicações de voz de todos os serviços prestados no CCO em Santa Maria.



Figura 3.10 - VCS da DENRO do CCO



Figura 3.11 - Cartas analógicas do VCS

Este equipamento dispõe de diversas *interfaces* analógicas que utilizam mecanismos de sinalização *Ear & Mouth* (E&M) para efetuar a comunicação com os rádios remotos através de cartas analógicas dedicadas (Figura 3.11).

Este sistema representa uma tecnologia *legacy* a cair progressivamente em desuso e a ser abandonado nas telecomunicações. Este equipamento não disponibiliza *interfaces* IP e a tecnologia inerente ao seu funcionamento está limitada ao funcionamento analógico.

Em ordem à migração para as tecnologias VoIP, a aquisição de um novo e moderno equipamento VCS é incontornável. De entre as diversas opções existentes no mercado, em Santa Maria este equipamento foi recentemente substituído por um novo e moderno VCS (Frequentis, modelo 3020X), ilustrado na Figura 3.12

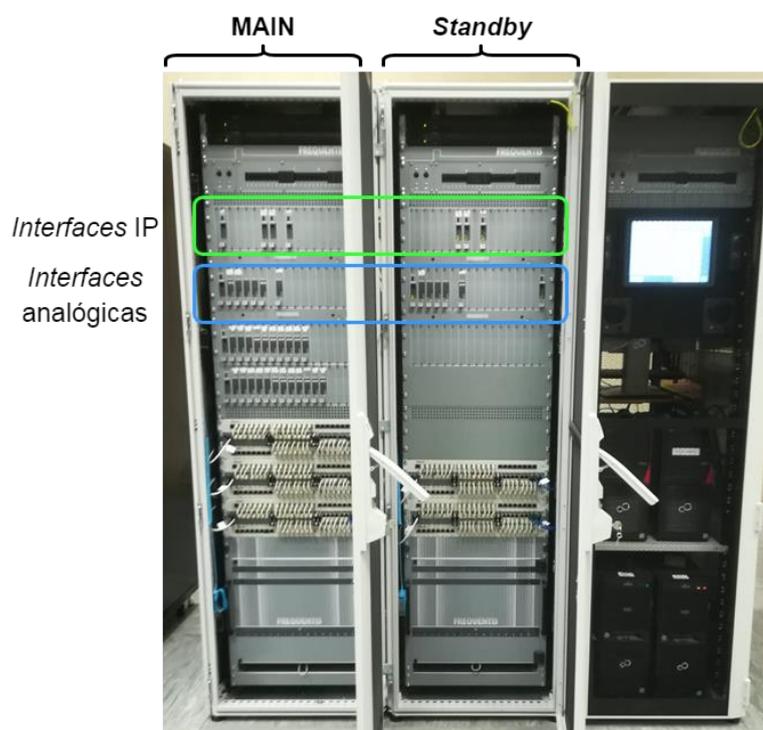


Figura 3.12 - Novo VCS Frequentis 3020X do CCO

A Frequentis é uma marca reconhecida mundialmente que atualmente lidera o mercado em equipamentos de voz em ATM. O modelo 3020X tem sido a primeira escolha de diversas ANPS's pelo que já se encontra implementado em diversos centros de controlo em mais de 80 países [26].

Além de proporcionar comunicações VoIP com elevado desempenho e resiliência, o VCS 3020X representa um componente fundamental para uma abordagem mais flexível e dinâmica nas comunicações A/G efetuadas.

Embora se caminhe para o domínio digital reduzindo progressivamente as tecnologias que se encontrem cada vez mais próximas da extinção, é importante ter em consideração que, para manter a continuidade dos serviços atualmente prestados, é exigida a existência de compatibilidade com os sistemas *legacy*. Com o novo VCS recentemente adquirido, as questões relacionadas com *interfaces* não revelam nenhum problema em relação à continuidade dos serviços. Segundo o manual da descrição de produto do novo VCS (referenciado em [27]), o modelo 3020X dispõe de variados *interfaces* tanto digitais como analógicos no âmbito de sistemas de rádio, telefone, gravação e alarmes.

Deste modo, é possível efetuar uma migração dos sistemas analógicos e *legacy* para sistemas que operam totalmente sobre rede IP sem que os serviços sejam interrompidos. A Figura 3.12 distingue as *interfaces* IP e analógicas do novo VCS Frequentis 3020X.

Com a aquisição de um novo VCS bem como a implementação de um módulo IP nos equipamentos rádio disponíveis, torna-se possível a comunicação VoIP entre estes equipamentos. No entanto, de forma a assegurar que esta comunicação é efetuada corretamente e como esperado, devem ser efetuados testes de validação e de certificação aos novos mecanismos implementados. Esta validação encontra-se no capítulo 4 desta dissertação, mais concretamente na secção 4.2.

### 3.4 Rede de comunicações ATM

#### 3.4.1 Levantamento dos requisitos da rede ATM

No âmbito da navegação aérea existem diversas entidades que estipulam/recomendam as normas e diretrizes para garantir o bom funcionamento e eficiência dos serviços prestados. Qualquer infraestrutura de rede de telecomunicações ATM deve seguir os requisitos estipulados pelas organizações dedicadas a este assunto, nomeadamente:

- **ICAO** – International Civil Aviation Organization;
- **EUROCAE** – European Organization for Civil Aviation Equipment;
- **EUROCONTROL** – European Organization for the Safety of Air Navigation.

O levantamento dos requisitos para a rede de telecomunicações ATM foi realizado com base em documentos referentes ao ambiente regulatório e de boas práticas das referidas instituições como também da NAV Portugal.

Os requisitos identificados encontram-se descritos no Apêndice E – “Requisitos da infraestrutura de telecomunicações”.

No Apêndice F - “Matriz de ligação dos requisitos com o ambiente regulatório” constam as referências dos requisitos estipulados em função dos documentos consultados.

Ao analisar os requisitos identificados, são perceptíveis os princípios e atributos principais na projeção da nova rede ATM que irão permitir acomodar estes requisitos, nomeadamente: resiliência, escalabilidade, qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*) e segurança.

No contexto deste projeto, o conceito de resiliência remete para uma infraestrutura de rede sólida e operacional visto que a indisponibilidade dos serviços e as falhas na comunicação são intoleráveis neste ramo. Para cumprir com estes objetivos, é necessária a existência de redundâncias tanto por diversidade entre caminhos como também por meio físico entre o diferentes intervenientes.

A escalabilidade é também uma das características mais importantes na rede ATM. Este conceito define-se como a capacidade de adaptação da rede aquando da implementação de novas funcionalidades ou serviços. Embora a rede em questão tenha inicialmente uma função específica, é importante que, tal como referido anteriormente, demonstre aptidão para adotar futuras funcionalidades de modo a promover o desenvolvimento da mesma. Como tal,

é relevante recorrer a material que disponibilize não só uma largura de banda confortável como também um número de portas suficiente tanto para as conexões atuais, bem como para as futuras.

No que diz respeito à qualidade de serviço, no âmbito deste projeto, esta prende-se tanto pela reserva de recursos como pela gestão de prioridades de tráfego na rede. Uma vez que a rede ATM irá acomodar diversos serviços, fluxos e aplicações, é conveniente gerir a prioridade que é disponibilizada a cada um de forma a promover o desempenho de todo o sistema. A importância deste fator acresce com o aumento de serviços sensíveis à latência como é o caso do VoIP.

Finalmente, e sendo uma rede IP que interliga todos os sistemas, acresce uma extrema relevância no que toca as questões de segurança da rede. Desta forma, deverão ser consideradas medidas que visam não só proteger os dados que nela circulam, mas como também endereçar medidas de segurança física e ambiental, o que remete novamente para questões como:

- Utilização de ligações redundantes;
- Provisão de circuitos alternativos de contingência;
- Diversidade espacial de equipamentos redundantes.

### 3.4.2 Caracterização da rede de comunicações atual

Atualmente, as comunicações entre os diversos sistemas de ATM e CNS inerentes à prestação de serviços de navegação aérea na FIR de Santa Maria são maioritariamente suportadas pela rede Multinet.

#### 3.4.2.1 Ligações lógicas entre os *Sites*

A rede Multinet dispõe de diversas ligações de voz e de dados entre os diversos órgãos do DOPATL e Lisboa. Quanto aos canais de voz, as suas ligações são efetuadas ponto-a-ponto. As referidas ligações de voz, bem como as de dados, encontram-se ilustradas de forma distinta de um ponto de vista lógico na Figura 3.13.

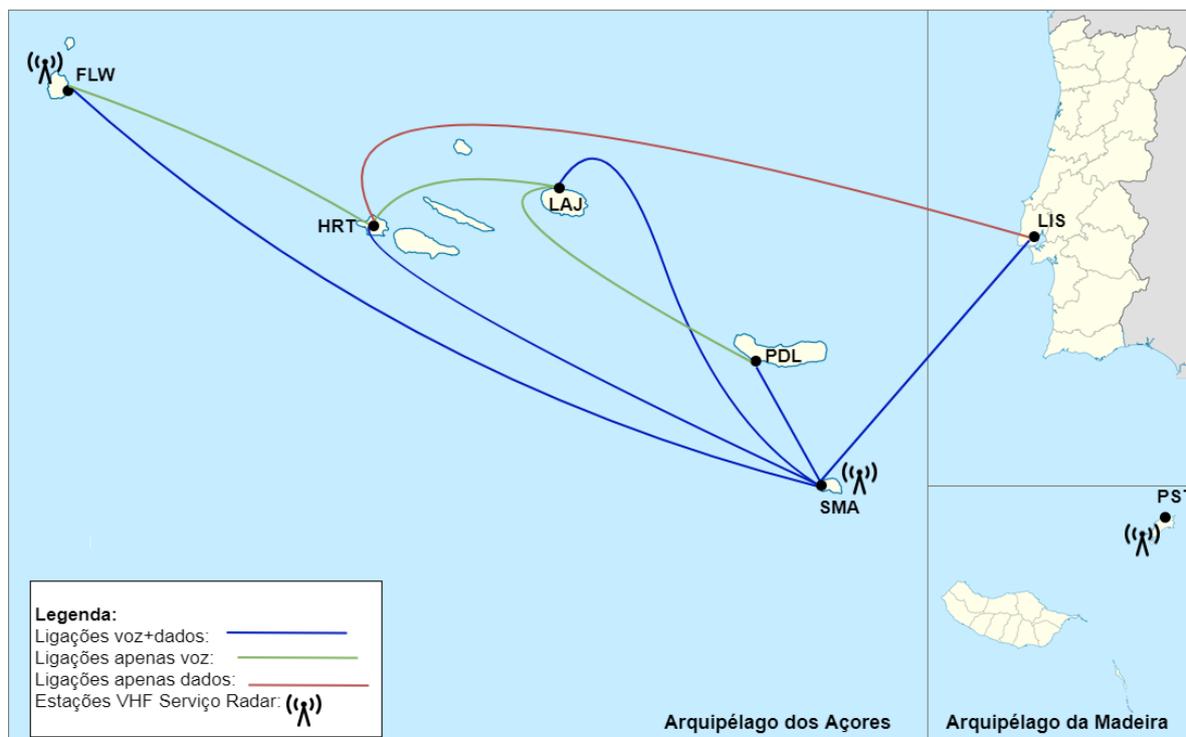


Figura 3.13 - Ligações lógicas entre os sites: solução atual

Os circuitos internacionais são efetuados através do DOPLIS, após o encaminhamento da informação por parte da rede Multinet. É relevante referir que o *site* de Lisboa (LIS) e do Porto Santo (PST) constam no domínio do DOPLIS. No entanto, do ponto de vista do DOPATL, além das ligações diretas com LIS através da rede Multinet, existe uma ligação para PST (não ilustrada na Figura 3.13) a qual é efetuada a partir de LIS através de uma rede exterior à Multinet.

O fato da comunicação para PST ser feita por uma rede externa implica que existam mais intermediários nesta ligação. Consequentemente, quanto maior for a quantidade de intermediários entre uma ligação mais pontos de falha existem.

### 3.4.2.2 Arquitetura dos Sites

Relativamente à arquitetura dos *sites*, são consideradas as necessidades de alta resiliência dos serviços prestados, primando-se por um serviço de rede sólido que vise reduzir ao máximo possíveis pontos de falha.

De forma a promover a resiliência nas comunicações, a arquitetura dos *sites* segue o modelo *Enterprise Campus* da CISCO, igualmente considerada nas redes aeronáuticas a nível europeu e internacional. Esta arquitetura segue um modelo hierárquico onde, como identificado na Figura 3.14, podem ser identificadas três camadas distintas: Acesso (A), Distribuição (D) e *GateWay* (Gtw) [28].

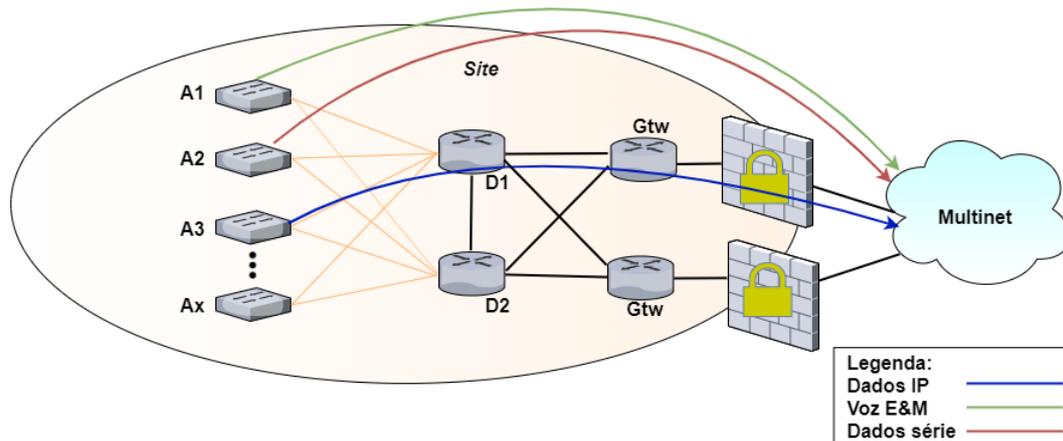


Figura 3.14 - Arquitetura dos sites: solução atual

Na arquitetura atual, em cada *site*, as ligações são efetuadas de forma redundante segundo uma filosofia de *full-mesh*. Adicionalmente encontram-se implementados mecanismos de *Hot Standby Router Protocol* (HSRP) automático de forma a tornar a arquitetura tolerante a falhas no sentido em que, caso um equipamento falhe, o sistema automaticamente reencaminha o tráfego por outro equipamento.

Através desta arquitetura são efetuadas as ligações digitais de dados IP entre os pontos de acesso (segundo o exemplo da Figura 3.14, do ponto A3) até à rede Multinet, passando pelo *gateway* do *site* e pelos respetivos mecanismos de segurança.

Quanto às comunicações de voz, sendo estas analógicas e suportadas por *interfaces* E&M, são diretamente estabelecidas entre os pontos de acesso (A1, por exemplo) e a rede Multinet. Relativamente às comunicações de dados série, também analógicas, verifica-se o mesmo que nas comunicações de voz. Neste cenário, verifica-se que as ligações de voz e as ligações de dados série não usufruem da arquitetura de alta resiliência disposta.

#### 3.4.2.3 Características da infraestrutura de telecomunicações atual: nível físico

Do ponto de vista físico, para o suporte da rede Multinet, são utilizadas ligações por fibra ótica disponibilizada pelo *provider*. Estas ligações são efetuadas através de um circuito submarino de cabos de fibra ótica constituído pelos seguintes elementos:

- **Azores Fiber Optic System (AFOS):** Anel de fibra que interliga o grupo oriental e o grupo central;
- **Flores-Corvo Cable System:** fibra que interliga a Ilha das Flores e do Corvo ao anel de fibra AFOS;
- **Columbus-III:** Cabo de fibra submarino entre os Estados Unidos da América e Itália, o qual intercepta Ponta Delgada e Lisboa, permitindo uma ligação entre ambos.

Os referidos cabos submarinos de fibra ótica podem ser consultados no Anexo C – “Cabos submarinos de fibra ótica” [29].

Além da rede Multinet, existe ainda uma rede denominada de *Central Atlantic FIR’s VSAT Network* (CAFSAT), cuja uma das suas ligações presta auxílio como meio redundante no sistema de telecomunicações atual do DOPATL. A rede CAFSAT é uma rede via satélite

que interliga diversas regiões na Europa, América do Sul e no continente Africano. A rede CAFSAT é uma rede multiponto fechada onde não existe um sistema de gestão de controlo centralizado [30]. Para efetuar as respetivas comunicações, é utilizado o satélite de comunicação geoestacionário INTELSAT IS-901 [30].

Entre os *sites* SMA e LIS, é utilizado um dos *links* da rede CAFSAT como meio de transmissão redundante à rede Multinet. No entanto, esta rede não é adequada à utilização que está a ser dada visto que não possui largura de banda suficiente para suportar os serviços mínimos em situações de contingência.

Todas as outras ligações são efetuadas pela rede Multinet, sendo esta a principal rede de suporte às telecomunicações do DOPATL. A Figura 3.15 ilustra de um ponto de vista físico a rede de telecomunicações que interliga os diferentes *sites* do DOPATL e LIS através da rede Multinet e da rede CAF-SAT.

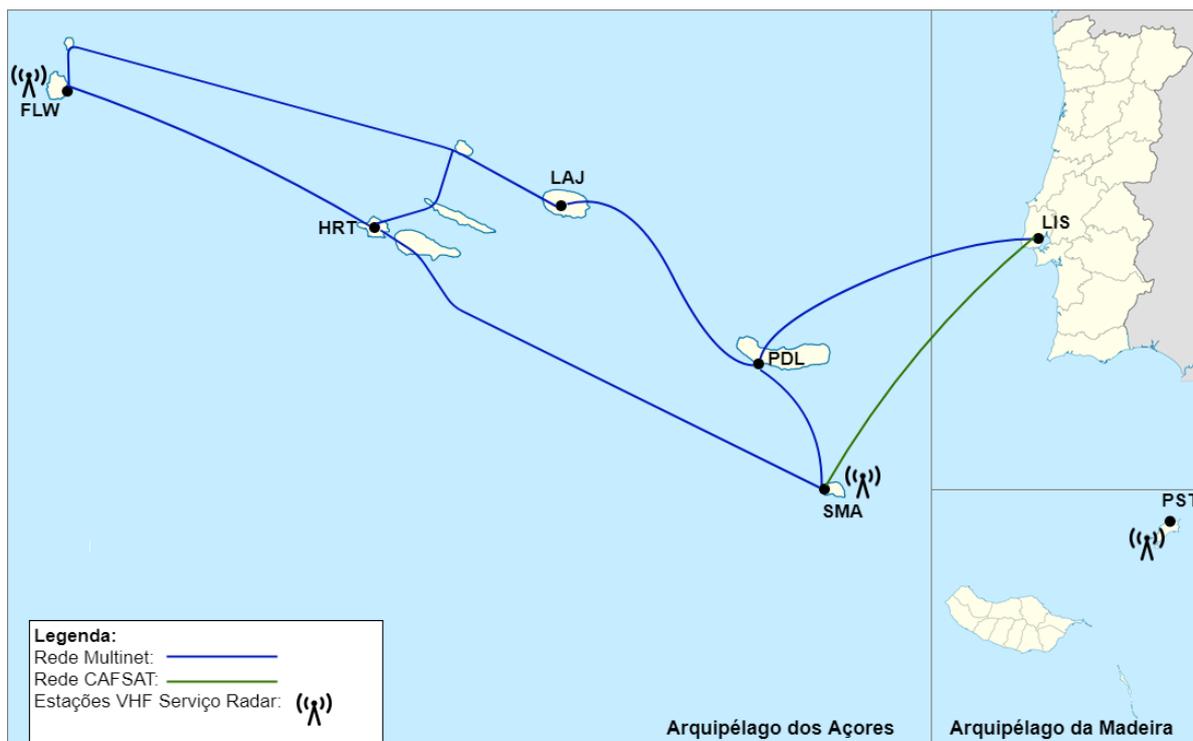


Figura 3.15 - Ligações físicas entre os sites: solução atual

Mais uma vez, a ligação com PST não é evidenciada visto que esta é efetuada através de LIS e suportada por uma rede externa às mencionadas.

#### 3.4.2.4 Características da infraestrutura de telecomunicações atual: nível de ligação de dados

Quanto ao nível de ligação de dados, na rede Multinet é utilizada a tecnologia Frame Relay para o encaminhamento dos pacotes entre os *sites*.

Esta tecnologia é disponibilizada pela entidade *provider* de serviços de telecomunicações e assegura as ligações analógicas e as ligações digitais inerentes aos serviços da NAV.

O Frame Relay caracteriza-se por uma tecnologia de transmissão de dados utilizada para interligar redes e aplicações de voz ponto-a-ponto, a qual opera em cenários de *Wide-area network* (WAN) no nível de ligação de dados (*Layer 2*) do modelo OSI [31]. Porém, pode também integrar dispositivos e funcionalidade do nível de rede (*Layer 3*) pois permite o encapsulamento de pacotes IP.

Ao utilizar o Frame Relay, cada utilizador da rede ou nó final partilha os recursos de rede de *backbone*, como por exemplo, a largura de banda. A conexão entre os nós finais é efetuada através de *Virtual Circuits* (VC's). A Figura 3.16 exemplifica o conceito do Frame Relay num cenário de WAN [31].

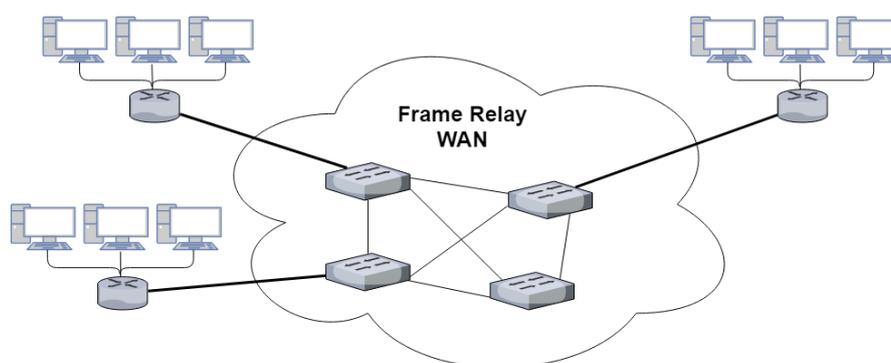


Figura 3.16 - Exemplo de uma WAN com Frame Relay

Todas as ligações que são efetuadas sobre o Frame Relay representam ligações simples e passivas, as quais são geridas pelo *provider* pelo que não existe controlo direto da NAV sobre as mesmas. Deste ponto de vista, reflete-se um problema neste aspeto uma vez que sempre que há necessidade de efetuar uma alteração na rede é necessário recorrer ao *provider*, alargando o tempo de intervenção na rede e introduzindo custos adicionais sobre a manutenção da mesma.

Por outro lado, o Frame Relay encontra-se cada vez mais a ser abandonado nos sistemas de telecomunicações sendo progressivamente substituído por novas tecnologias como o MPLS, pelo que brevemente deixará de ser disponibilizado pelo *provider*.

### 3.4.2.5 Serviços de voz e dados

A partir da rede Multinet são suportados diversos serviços do DOPATL tanto a nível de voz como de dados. Os serviços de dados atualmente disponíveis caracterizam-se em dados série (tanto síncronos como assíncronos) e dados IP. A quantidade de serviços atualmente existentes na rede Multinet encontra-se estabelecida na Tabela 7.

Tabela 7 - Serviços integrados na rede Multinet

Órgão	Serviços de Voz	Serviços de Dados síncronos/assíncronos	Serviços de Dados IP
Santa Maria	22	10	2 x 256 Kbps
Lages	6	1	2 x 256 Kbps
Ponta Delgada	4	2	2 x 256 Kbps
Horta	5	2	3 x 256 Kbps
Flores	5	1	2 x 256 Kbps
Lisboa e Porto Santo	12	7	3 x 256 Kbps

Além dos serviços identificados anteriormente, existem outros serviços inerentes às operações do DOPATL fora da rede Multinet (Tabela 8) que são suportados por circuitos externos à rede Multinet.

Tabela 8 - Serviços não integrados na rede Multinet

Órgão	Serviços de Voz	Serviços de Dados síncronos/assíncronos	Serviços de Dados IP
Santa Maria	-	7	4 x 256 Kbps
Lages	-	-	-
Ponta Delgada	7	2	2 x 256 Kbps
Horta	2	2	1 x 256 Kbps
Flores	4	2	2 x 256 Kbps
Lisboa e Porto Santo	-	-	-

#### 3.4.3 Planeamento da nova rede de comunicações ATM

Após caracterizada a rede de comunicações atualmente disposta (Multinet) é evidente que esta não se enquadra no estado da arte de uma rede de comunicações ATM nem cumpre com todos os requisitos estabelecidos pelas entidades reguladoras.

Nesta secção são identificadas os princípios e soluções a serem consideradas para o planeamento da nova rede de forma a possibilitar que sejam não só acomodados os requisitos estipulados como também resolvidos os constrangimentos identificados no sistema atual.

O planeamento da rede ATM é efetuado em função da migração para tecnologias e sistemas de domínio digital pelo que devem ser considerados aspetos como:

- Introdução de sistemas de comunicações de voz através do protocolo VoIP;
- Maior utilização de circuitos de dados IP;
- Redução das tecnologias que se encontram progressivamente a cair em desuso tais como circuitos de voz analógicos e circuitos de dados síncronos e assíncronos.
- Integração de todos os circuitos e respetivos serviços prestados na FIR de Santa Maria.

### 3.4.3.1 Ligações lógicas entre sites

As ligações lógicas entre os *sites* representam uma das principais mudanças de paradigma da forma como os serviços ATM devem ser disponibilizados. Enquanto no caso atual as ligações são efetuadas diretamente entre dois pontos, a nova solução introduz o conceito de nuvem IP. Desta forma, as ligações lógicas entre os demais *sites* passam a ser efetuadas entre si de forma ponto-multiponto, como ilustrado na Figura 3.17.

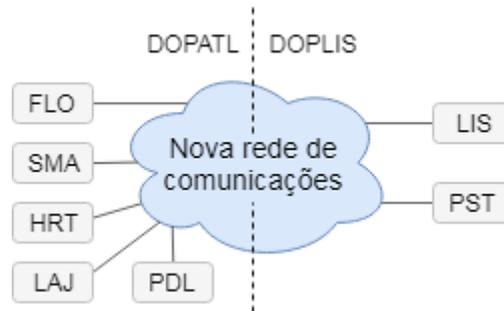


Figura 3.17 - Ligações lógicas entre os sites: nova solução

Esta nuvem IP será utilizada para efetuar as ligações entre diversos *sites* e englobará tanto as ligações voz (que passarão a ser efetuadas via IP) como de dados que também serão transportados via IP. Uma das grandes vantagens que o conceito de nuvem introduz é a flexibilidade nas comunicações. Ao contrário das ligações ponto-a-ponto do caso atual, nesta nova solução será possível recorrer aos diversos equipamentos de forma dinâmica e flexível numa filosofia de N:N.

Tal como referido anteriormente, a ligação para o *site* PST é efetuada a partir do *site* LIS através de uma rede exterior à Multinet. Embora o *site* PST conste geograficamente no domínio do DOPLIS, a sua estação VHF opera em função dos serviços do DOPATL (nomeadamente o Serviço Radar). Deste ponto de vista, é acrescentada uma ligação com o *site* Porto Santo (PST).

### 3.4.3.2 Arquitetura dos Sites

Em relação à arquitetura dos *sites*, esta pode ser entendida de dois pontos de vista distintos: *Customer Edge* e *Provider Edge*. O primeiro diz respeito à arquitetura interna dos *sites* até à *interface* com a rede de telecomunicações. Por sua vez, *Provider Edge* corresponde à arquitetura do ponto de entrada dos *sites* na rede da entidade *provider*. Em ambos os cenários, prima-se por uma arquitetura de alta resiliência onde são adotados mecanismos apropriados ao efeito. Este conceito encontra-se ilustrado na Figura 3.18.

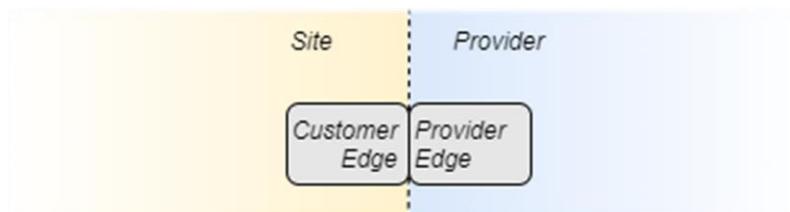


Figura 3.18 - Distinção Customer Edge e Provider Edge

Para a nova rede de comunicações, a arquitetura dos *sites* é a mesma que se encontra atualmente implementada (modelo *Enterprise Campus* da CISCO, ver secção 3.4.2.2). A mudança de paradigma está na adaptação das ligações dentro de cada *site* visto que, ao contrário do cenário atual, com a migração para a tecnologias VoIP as comunicações de voz e de dados serão efetuadas totalmente através da rede IP (Figura 3.19).

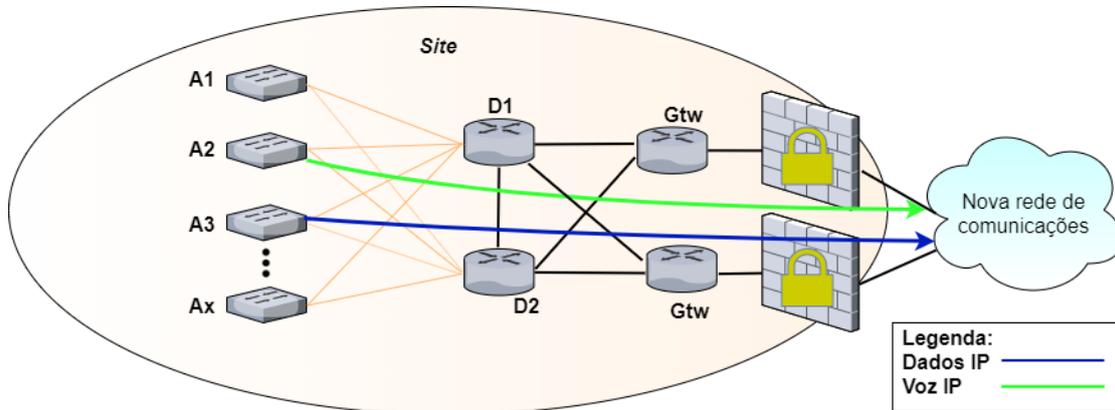


Figura 3.19 - Arquitetura dos sites: nova solução (Customer Edge)

Do lado da rede de telecomunicações do *provider*, são consideradas ligações resilientes também com uma filosofia de *full-mesh* para cada *site*, podendo a quantidade de equipamentos de roteamento variar de *site* para *site* consoante as necessidades de cada *site*. A Figura 3.20 ilustra este conceito de *full-mesh* no *Provider Edge*.

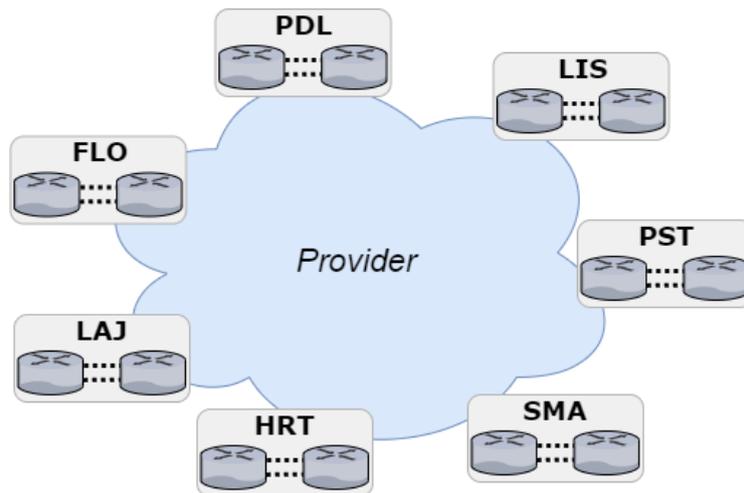


Figura 3.20 - Arquitetura dos sites: nova solução (Provider Edge)

Desta forma, é garantida a resiliência nas comunicações e nos serviços prestados até à transição das infraestruturas da NAV para as infraestruturas alugadas à entidade *provider*.

### 3.4.3.3 Características da nova infraestrutura de telecomunicações: nível físico

De acordo com o ambiente regulatório, além das ligações físicas redundantes na rede alugada ao *provider*, devem existir ligações físicas de contingência entre os diversos *sites* por meios alternativos e independentes da infraestrutura disponibilizada pelo mesmo. Além do mais, as referidas ligações de contingência devem ser preferencialmente terrestres.

Dado o contexto geográfico onde são efetuadas as operações de navegação aérea em estudo, existem diversas limitações tanto a nível de infraestruturas de telecomunicações como também de fornecedores de serviços. Por esta razão, a disponibilidade dos serviços na infraestrutura de telecomunicações do DOPATL não pode ser completamente garantida através de ligações terrestres, sendo necessário o recurso a outros meios de comunicação alternativos de forma a promover a disponibilidade e resiliência da rede.

Deste ponto de vista, a solução proposta para as ligações entre os diversos *sites* inclui diversos meios de comunicação físicos distintos tais como:

- Ligações por fibra ótica;
- Ligações por feixes hertzianos;
- Ligações via satélite.

A Figura 3.21 visa identificar as ligações sugeridas entre os diversos *sites*, efetuando a distinção dos meios utilizados para cada caso.

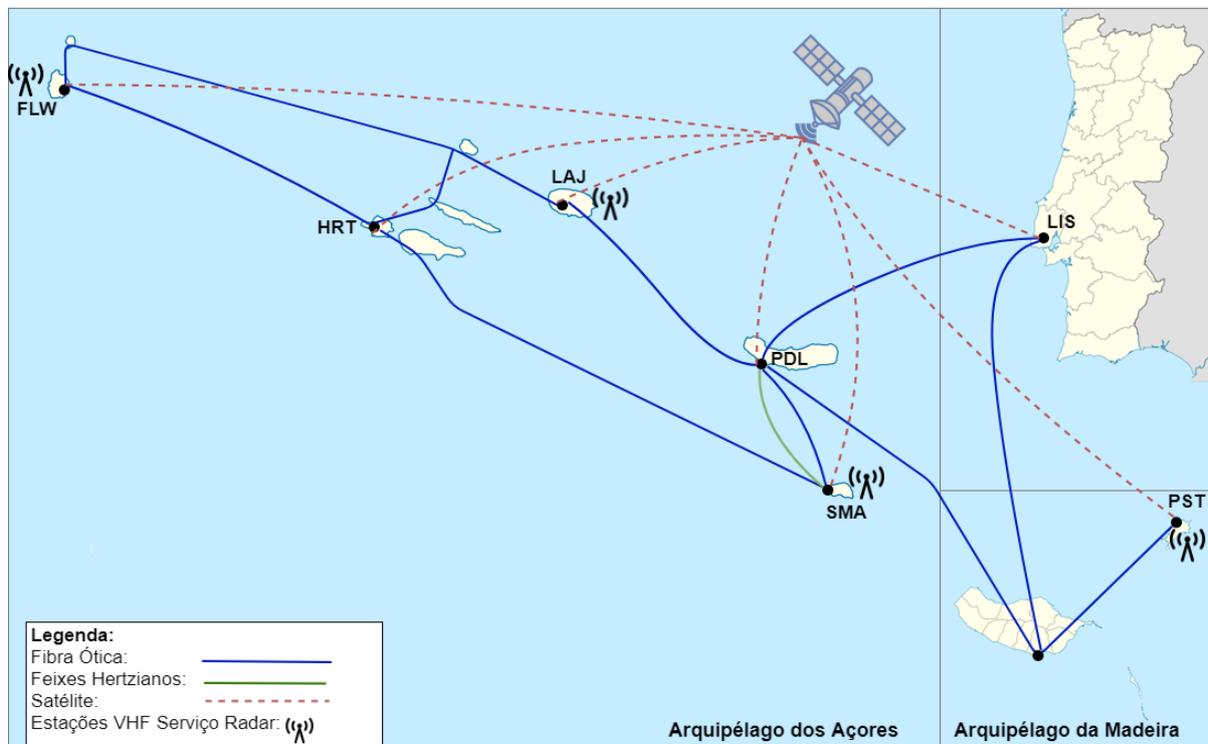


Figura 3.21 - Ligações físicas entre os sites: nova solução

Como é observável na Figura 3.21, a infraestrutura de fibra ótica alugada é a mesma (a qual é suportada pelos cabos submarinos **AFOS**, **Flores-Corvo Cable System** e **Columbus-III**). No entanto, além dos cabos mencionados, é necessário o recurso de outros cabos de fibra ótica submarinos disponíveis, nomeadamente:

- **CAM Ring:** Cabo de fibra que interliga Ponta Delgada ao Porto Santo, passando pelo Funchal (Ilha da Madeira);
- **Atlantis-2:** Cabo de fibra submarino que interliga diversos pontos da América do Sul a Lisboa. Este cabo intersecta com o CAM Ring, permitindo assim uma segunda ligação fibra entre Ponta Delgada e Lisboa.

Os cabos submarinos de fibra ótica referidos podem ser consultados no Anexo C – “Cabos submarinos de fibra ótica”.

Esta nova ligação proporciona duas grandes vantagens para sistema:

- **Ligação de fibra ótica entre SMA e PST:** visto que é em SMA que se localiza o Centro de Controlo Oceânico e que no PST consta uma das estações VHF de prestação do Serviço Radar. Desta forma, é possibilitado em termos físicos a integração do *site* PST na rede de comunicações ATM, sendo abandonados os circuitos externos atuais.
- **Redundância em ligações internacionais:** dada a implementação dos cabos submarinos de fibra ótica existentes, é via Ponta Delgada (PDL) que é estabelecida uma ligação por fibra ótica entre o CCO e Lisboa. Com esta nova ligação por fibra (através do cabo Atlantis-2) é possível estabelecer uma segunda ligação de fibra entre estes dois *sites* através do arquipélago da Madeira.

Embora o arquipélago dos Açores esteja interligado por um anel de fibra ótica, o qual remete para uma ligação bidirecional entre os diversos *sites*, sabe-se que em cada ilha, com exceção de São Miguel (*site* PDL), existe apenas um único ponto de ancoragem da fibra. No caso de falha de um ponto de ancoragem num *site*, como por exemplo SMA, a ligação por fibra entre o CCO e o exterior é interrompida, sendo necessária a utilização de meios de comunicação alternativos.

A implementação de uma ligação por feixes Hertzianos entre SMA e PDL visa assegurar as ligações de contingência entre o CCO e o exterior. No entanto, visto que estas ligações só são possíveis em linha de vista, a sua utilização só é viável entre estes dois *sites*.

As ligações via satélite entre os diversos *sites* representam a redundância entre os mesmos, assegurando as comunicações em cenários de contingência caso fibra ótica esteja fora de serviço.

Uma vez que estas ligações apenas entrarão em serviço em casos muito pontuais e de último recurso em cenários de contingência, propõe-se a contratação de um serviço de ligações satélites *on-demand* (modalidade em que o custo é dependente do grau utilização).

De qualquer das formas, a contratação de ligações satélite entre os diversos *sites* representa a solução mais viável relativamente à carência de circuitos redundantes entre os mesmos de forma a garantir a continuidade dos serviços em cenários de contingência. Após uma avaliação de mercado, é sugerido a contratação de um serviço de rede VSAT como por exemplo a rede FreedomSat. Os serviços disponibilizados por esta rede podem ser consultados no Anexo I – “Serviços da rede FreedomSat”

Quanto à rede CATSAT, esta continuará a sua operação normal visto que, embora preste no caso atual uma ligação alternativa entre SMA e LIS, o seu princípio é suportar serviços distintos e exteriores aos abordados.

### 3.4.3.4 Características da nova infraestrutura de telecomunicações: nível de ligação de dados

Tendo em conta que o Frame Relay está progressivamente a cair em desuso, o mecanismo de interligação de dados disponibilizado pelo *provider* para o encaminhamento dos dados (o qual coincide com os requisitos estipulados) é o MPLS.

De acordo com os requisitos, através do MPLS, prima-se pelo estabelecimento de *Virtual Private Network's* (VPN's) entre os diversos *sites*. Os túneis VPN possibilitaram que seja definida a largura de banda adequada para suportar as comunicações entre os diversos *sites* consoante as necessidades de cada um, garantindo a disponibilidade dos serviços prestados.

A distribuição de tráfego e adequação da largura de banda necessária à prestação de cada serviço permite efetuar uma distinção entre o esforço de transporte dos pacotes *real-time* (como pacotes de voz) e dos pacotes de dados consoante a sua prioridade, promovendo assim a QoS nas comunicações. A Figura 3.22 demonstra, de um ponto de vista meramente ilustrativo, o conceito de distribuição de tráfego limitando a largura de banda.

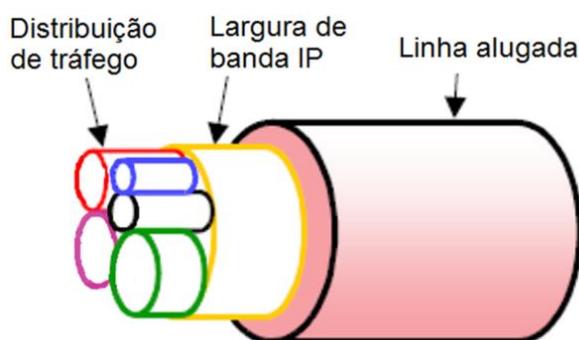


Figura 3.22 - Distribuição de tráfego e limite de largura de banda

Além disto, os túneis VPN também permitem evitar a exposição da rede a qualquer intrusão ou vigilância indesejada através da infraestrutura disponibilizada pelo *provider*. De forma a assegurar a segurança, disponibilidade, integridade e confidencialidade das informações que circulam na rede, devem ser utilizados sistemas de encriptação como por exemplo o *IPSec* para o encapsulamento das VPN's.

Por fim, além dos benefícios já mencionados, com implementação de VPN's é possível, através de mecanismos de monitorização e controlo da rede apropriados, efetuar alterações e configurações aos equipamentos de rede remotamente. Desta forma, a monitorização e manutenção da rede poderá ser efetuada pela NAV, o que promove a independência das entidades *provider* para o efeito. Ao invés do sistema atual, os túneis VPN são definidos e implementados pela NAV consoante as suas necessidades, contribuindo para a flexibilidade e escalabilidade de todo o sistema.

#### 3.4.3.5 Quantidade de serviços suportados

Para nova rede ATM, deverá ser considerado que esta deve suportar não só os serviços atualmente presentes na rede Multinet (Tabela 7) como também os serviços que não se encontram atualmente integrados (Tabela 8).

Contudo, de acordo com os requisitos estipulados, além dos serviços descritos anteriormente, a nova rede deverá suportar um aumento no valor de 30% dos mesmos. Desta forma, conclui-se que a quantidade de serviços a suportar é definido pelo somatório dos serviços estipulados na Tabela 7 e na Tabela 8, com um aumento dos mesmos na ordem dos 30%. Assim sendo, a quantidade de serviços que a nova rede deve integrar é a descrita na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade de serviços a integrar na nova rede de comunicações

Órgão	Serviços de Voz	Serviços de Dados síncronos/assíncronos	Serviços de Dados IP
Santa Maria	29	23	8 x 256 Kbps
Lages	8	2	3 x 256 Kbps
Ponta Delgada	15	6	6 x 256 Kbps
Horta	10	6	6 x 256 Kbps
Flores	12	4	6 x 256 Kbps
Lisboa e Porto Santo	16	10	4 x 256 Kbps

No entanto, ao contrário do sistema atual onde são efetuadas diversas ligações ponto-a-ponto, há que considerar que a nova rede será utilizada como *pool* de serviços que acomodará todas as comunicações inerentes aos serviços prestados. Desta forma, e sendo um único domínio de colisão, deverá ser disponibilizada uma largura de banda suficientemente capaz de garantir a operacionalidade de todos os sistemas. O cálculo da largura banda necessária baseia-se na soma da largura de banda consumida por todos os serviços descritos na Tabela 9.

No entanto, e visto que futuramente prima-se por comunicações totalmente à base de IP, deverá ser considerada a largura de banda consumida por estes serviços ao utilizarem IP. Quanto aos pacotes de voz, de acordo com [17], sabe-se que com a utilização de VoIP cada canal de voz irá consumir aproximadamente 100 Kbps. Relativamente aos serviços de dados síncronos e assíncronos, são considerados os mesmos 256 Kbps que nos canais de dados IP já existentes. Uma vez que na mesma rede serão também suportadas as transmissões de dados inerentes à monitorização e controlo da mesma, é adicionado ao cálculo um valor empírico de 5 Mbps para o efeito.

Desta forma, estima-se que a largura de banda a ser consumida por todos os serviços é de aproximadamente 35,5 Mbps. Este valor reflete apenas uma referência para largura de banda necessária considerado a operação de todos os serviços em simultâneo de forma a refletir o pior caso.

De forma a acomodar todos cenários, e com o intuito de promover a disponibilidade e escalabilidade da rede, é sugerido o aluguer de uma largura de banda na ordem dos 50 ou até mesmo de 100 Mbps.

### 3.4.3.6 Segurança, supervisão, monitorização e controlo da rede

Nos dias que correm existem diversas ocorrências que afetam as redes informáticas e estes casos tendem a ser cada vez mais frequentes e prejudiciais. Sendo esta uma rede totalmente IP que conectará todos os sistemas utilizadas, a segurança da rede torna-se crítica e deve ser altamente considerada. Numa tentativa de antecipação a diversas situações futuras, durante a implementação do novo sistema de rede devem ser cuidadosamente considerados os seguintes aspetos:

- Segurança na rede, nos equipamentos e dados que circulam;
- Gestão dos recursos da rede de forma a garantir a prestação dos serviços estabelecidos, prevendo com antecedência os recursos e necessidades relativos à prestação destes serviços;
- Sistemas de monitorização e controlo da rede e equipamentos adequados.

Tendo em consideração as elevadas necessidades de segurança numa rede de serviços aeronáuticos e a evolução destas necessidades no futuro, devem ser promovidas as melhores práticas neste domínio. Neste sentido, devem ser asseguradas medidas que visam garantir a disponibilidade, confidencialidade e integridade do sistema, nomeadamente:

- Salvar medidas de segurança física e ambiental;
- Sistemas e práticas de Identificação, Autenticação e Autorização no acesso a equipamentos;
- Mecanismos apropriados de registos e auditorias;
- Sistema de gestão de segurança de configurações e arquitetura para avaliação e mitigação de riscos.

A segurança em ATM é um dos componentes mais importantes a ter em consideração para garantir a segurança na aviação (*Aviation Security - AVSEC*). A segurança em ATM visa lidar com ameaças direcionadas a qualquer ativo relacionado com ATM desde uma aeronave a qualquer infraestrutura crítica (tal como um aeroporto, um centro de controlo ou uma infraestrutura de rede de comunicações ATM) [32].

No contexto de uma estrutura de rede, e visto que os sistemas de ATM encontram-se cada vez mais a migrar para sistemas à base de rede IP onde a troca de informação em tempo real é algo cada vez mais comum, a informação é considerada como um ativo essencial para a sobrevivência e sucesso de um sistema de ATM. Desta forma, a cibersegurança é algo fundamental para a proteção deste ativo contra diversas ameaças, sendo crucial a existência de mecanismos de *Information Security* (INFOSEC) [32].

O conceito de INFOSEC caracteriza-se pela aplicação de medidas de segurança que visam proteger informações processadas, armazenadas ou transmitidas em sistemas de comunicação de forma a garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade das mesmas (*Confidentiality, Integrity, Availability - CIA*) [32]:

- **Confidencialidade:** a informação apenas deve ser acedida por utilizadores legítimos e que estejam autorizados a consultá-la.
- **Integridade:** a informação apresentada deve estar correta;
- **Disponibilidade:** a informação deve estar acessível aos utilizadores legítimos;

Além das medidas de segurança atualmente implementadas, a nova infraestrutura de rede deve seguir uma filosofia de *Secure by Design*. Como tal, devem ser consideradas medidas de segurança desde o início da projeção da infraestrutura da rede para que seja possível a implementação de mecanismos de segurança tais como:

- *FireWalls*;
- *Intrusion Prevention Systems (IPS)*;
- *Intrusion Detection Systems (IDS)*.

Neste sentido, é fundamental implementar os padrões de segurança inerentes a este cenário para que se possam adotar os meios apropriados que garantam a disponibilidade, confidencialidade e integridade do sistema.

Desta forma, na arquitetura de cada *site* devem constar mecanismos apropriados de forma a assegurar os objetivos mencionados. Além das medidas de segurança de um ponto de vista preventivo, surge também a necessidade da existência de procedimentos e medidas de *LockDown* (ação em resposta a uma ameaça) após o acontecimento de um incidente.

No Apêndice G – “Fluxograma de procedimentos SMC”, constam os procedimentos de segurança da rede que são efetuados tanto de forma preventiva (onde ciclicamente é realizada uma monitorização e controlo da rede) como através de processos de *LockDown* efetuados caso se verifiquem anomalias [33].



# **Capítulo 4**

## **Validação de soluções**

## 4.1 Avaliação da cobertura VHF do Serviço Radar

Para avaliar e validar o desempenho de uma estação VHF são recorridas duas componentes distintas:

- **Componente teórica:** efetuada a partir de simulações em *software* de forma a prever os níveis de alcance e de qualidade da cobertura VHF de um determinado parque de antenas;
- **Componente prática:** validação prática efetuada com base no estabelecimento de comunicações VHF com as aeronaves em casos reais.

### 4.1.1 Metodologia de avaliação

Para avaliar o desempenho das comunicações VHF utilizadas no Serviço Radar bem como para prever e validar os possíveis ganhos das soluções propostas nesta dissertação a metodologia adotada foi a seguinte:

#### 1. Previsões de cobertura do sistema inicial:

- Com base nos valores identificados na Tabela 6 da secção 3.2.3.3 e nas características do sistema inicial são executadas simulações com o objetivo de representar em maior detalhe a cobertura VHF disponibilizada por cada estação. Este passo é particularmente útil pois irá permitir averiguar se o modelo utilizado é adequado ao estudo.

#### 2. Previsões de cobertura com as soluções propostas:

- Posteriormente, são efetuadas novas simulações considerando as soluções propostas a cada estação de forma a prever os ganhos face ao sistema inicial.

#### 3. Validação dos resultados simulados:

- Finalmente, são comparadas as simulações referentes às soluções propostas com um caso prático de estudo a fim de validar as mesmas.

### 4.1.2 *Software* e modelo utilizado

Quer para o estudo dos sistemas atuais, quer para a validação das soluções propostas, o *software* utilizado para efetuar as simulações de cobertura VHF é o **Radio Mobile**. Este *software* permite prever o desempenho de um sistema de comunicações rádio e utiliza dados digitais de topografia do terreno para a extração automática do perfil do terreno entre um recetor e um emissor.

Para as previsões de cobertura, o *software* Radio Mobile utiliza o modelo ***Irregular Terrain Model*** da ITS (*Institute of Telecommunication Sciences*) em modo *Point-to-Point* (PTP). Este modelo, considera diversos aspetos relativos à teoria eletromagnética, modelos de propagação, difração e características do terreno.

A escolha deste *software* deveu-se à sua viabilidade satisfatória dos resultados obtidos em outros projetos desenvolvidos pela NAV. A caracterização do modelo e do *software* utilizado pode ser encontrada em [34] e [35].

### 4.1.3 Cenários de estudo

Numa primeira etapa, como referido na metodologia, são efetuadas simulações que visam representar o desempenho do sistema inicial referente às estações existentes:

- **Estação do Pico Alto** (SMA);
- **Estação do Pico dos Sete Pés** (FLO);
- **Estação do Pico do Facho** (PST).

Seguidamente, com base nas soluções propostas são efetuadas novas simulações, nomeadamente:

- **Estação do Pico Alto**: simulando a sua reestruturação;
- **Estação do Morro Alto**: simulando a realocização do Pico dos Sete Pés;
- **Estação da Serra de Santa Bárbara**: simulando a nova estação na Ilha Terceira.

Para todos os casos, são efetuadas simulações para os seguintes níveis de voo:

- **FL100**: associado à aproximação de uma CTR;
- **FL300**: nível de sobrevoos utilizado como de referência;
- **FL400**: nível de sobrevoos;

### 4.1.4 Configurações efetuadas

O Radio Mobile possibilita a parametrização de diversos parâmetros de forma a que os resultados sejam os mais precisos possíveis. Estes parâmetros podem ser divididos em dois grupos: parâmetros aplicáveis ao cenário e parâmetros locais aplicados a cada estação.

#### Parâmetros gerais aplicáveis ao cenário

Quanto aos parâmetros gerais do cenário que se aplicam a todos os casos, foram considerados:

- **Faixa de frequências**: [118-133] MHz de forma a acomodar as frequências VHF utilizadas nas estações em estudo;
- **Condutividade do solo**: 5 S/m (Siemens por metro) medida recomendada para o oceano como superfície (como especificado em [34]);

- **Permissividade relativa do solo:** 25 F/m (Farad por metro). Medida recomendada para o oceano como superfície (como especificado em [34]);
- **Clima:** Temperado marítimo sobre o mar visto ser o adequado ao arquipélago dos Açores.
- **Modo de variabilidade:** diz respeito às variações das variáveis inerentes ao clima escolhido. Foi escolhido o valor 50% em modo *spot* visto que, com base em experiências anteriores, verificou-se ser o mais adequado.
- **Potência mínima recebida na aeronave:** Segundo as recomendações da ICAO (Tabela 10), existe um mínimo de 75  $\mu\text{V/m}$  de intensidade do campo elétrico, considerando uma frequência de 127 MHz, pelo que se verificará à entrada do recetor cerca de -82dBm [36]. Como a frequência 127MHz corresponde a uma frequência central do espectro em estudo são considerados os 75  $\mu\text{V/m}$  recomendados pela ICAO em [36].

Tabela 10 - Recomendações ICAO - Potência mínima recebida na aeronave

Frequência (MHz)	Intensidade do campo elétrico		Input na antena recetora		
	$\mu\text{V/m}$	$\text{dB}\mu\text{V/m}$	$\text{dBW @ } 50 \Omega$	$\text{dBm @ } 50 \Omega$	$\mu\text{V @ } 50 \Omega$
127	<b>75</b>	37,50	-111,77	<b>-81,77</b>	18,20

**Parâmetros aplicados a cada estação:**

- Ilha de Santa Maria:

*Tabela 11 - Parâmetros de simulação: sistema atual Ilha de Santa Maria*

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	36° 58' 46,40'' N	Pico Alto
	25° 05' 27,40'' W	
Modelo de propagação	Omnidirecional	-
Ganho da antena [dB]	0	-
Altura da antena [m]	20	Valor estimado considerando o varandim do SSR
Altura do terreno [m]	577	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	50	-
Perdas do sistema [dB]	8	Valor estimado considerando o elevado nível de degradação das antenas

*Tabela 12 - Parâmetros de simulação: solução Ilha de Santa Maria*

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	36° 58' 46,40'' N	Pico Alto
	25° 05' 27,40'' W	
Modelo de propagação	Omnidirecional	-
Ganho da antena [dB]		-
Altura da antena [m]	10	Valor estimado considerando os mastros
Altura do terreno [m]	577	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	50	-
Perdas do sistema [dB]	3	Valor estimado

- Ilha das Flores

*Tabela 13 - Parâmetros de simulação: sistema atual Ilha das Flores*

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	39° 27' 12,90'' N	Pico dos Sete Pés
	31° 12' 37,50'' W	
Modelo de propagação	Omnidirecional	-
Ganho da antena [dB]	0	-
Altura da antena [m]	10	Valor estimado considerando os mastros
Altura do terreno [m]	837	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	50	-
Perdas do sistema [dB]	3	Valor estimado

## Capítulo 4 - Validação de soluções

Tabela 14 - Parâmetros de simulação: solução Ilha das Flores

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	39° 27' 48'' N	Morro Alto
	31° 13' 12'' W	
Modelo de propagação	Omnidirecional	-
Ganho da antena [dB]	3	-
Altura da antena [m]	10	Valor estimado considerando os mastros
Altura do terreno [m]	907	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	50	-
Perdas do sistema [dB]	3	Valor estimado

- Ilha do Porto Santo

Tabela 15 - Parâmetros de simulação: sistema atual Porto Santo

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	33° 05' 03,0'' N	Pico do Facho
	26° 19' 28,9'' W	
Modelo de propagação	Direcional	Direção do Pico Alto
Ganho da antena [dB]	8.5	-
Altura da antena [m]	10	Valor estimado considerando os mastros
Altura do terreno [m]	470	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	25	-
Perdas do sistema [dB]	3	Valor estimado

- Ilha Terceira

Tabela 16 - Parâmetros de simulação: solução Ilha Terceira

Parâmetro	Valor	Observações
Coordenadas	38° 43' 47,1'' N	Serra de Santa Bárbara
	27° 19' 07,0'' W	
Modelo de propagação	Omnidirecional	-
Ganho da antena [dB]	3	-
Altura da antena [m]	10	Valor estimado considerando os mastros
Altura do terreno [m]	1024	Acima do nível do mar
Potência transmitida [W]	50	-
Perdas do sistema [dB]	3	Valor estimado

### 4.1.5 Resultados obtidos

Nesta secção, é apresentada uma comparação entre a cobertura VHF do sistema inicial com a cobertura VHF espectável aquando da implementação das soluções propostas. Esta comparação é efetuada num panorama geral que engloba todas as estações, ilustrando os resultados do sistema inicial e das soluções propostas em função dos níveis de voo em estudo:

- FL100 (Figura 4.1 e Figura 4.2);
- FL300 (Figura 4.3 e Figura 4.4);
- FL400 (Figura 4.5 e Figura 4.6).

Sobreposto às referidas figuras constam os limites da TMA e da área abrangida por cobertura de vigilância para uma melhor perceção dos resultados obtidos. Os resultados individuais obtidos para cada estação podem ser consultados no Apêndice H – “Resultados obtidos nas simulações no Radio Mobile”.

Tanto as representações gráficas da cobertura como os valores obtidos estão diretamente dependentes da precisão disponível no *software* e das estimativas efetuadas para alguns dos parâmetros utilizados. Desta forma, os resultados apresentados devem ser considerados como uma estimativa teórica que indicam a cobertura esperada, pelo que o seu grau de precisão é ligeiramente inferior a 100%.

- Resultados obtidos para FL100

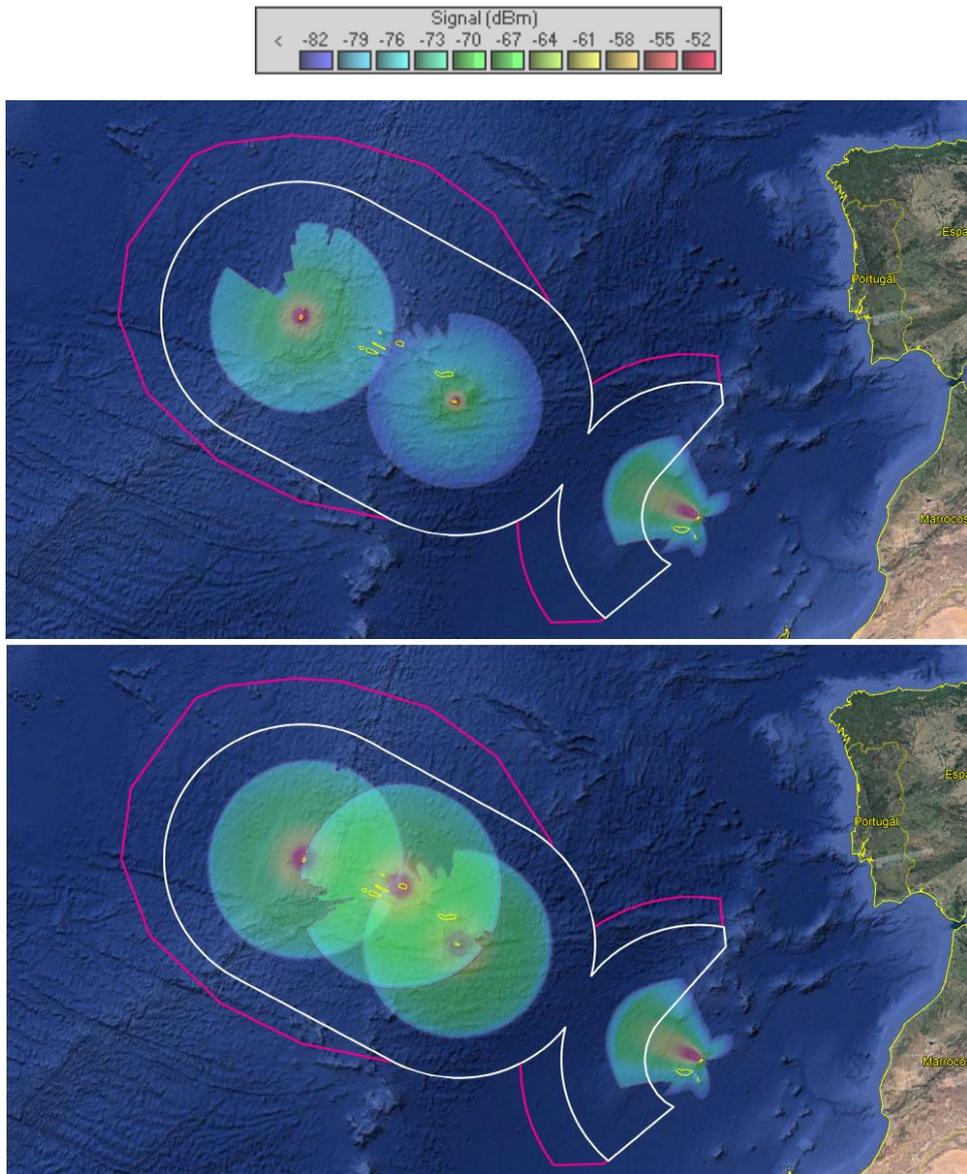


Figura 4.1 - Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL100

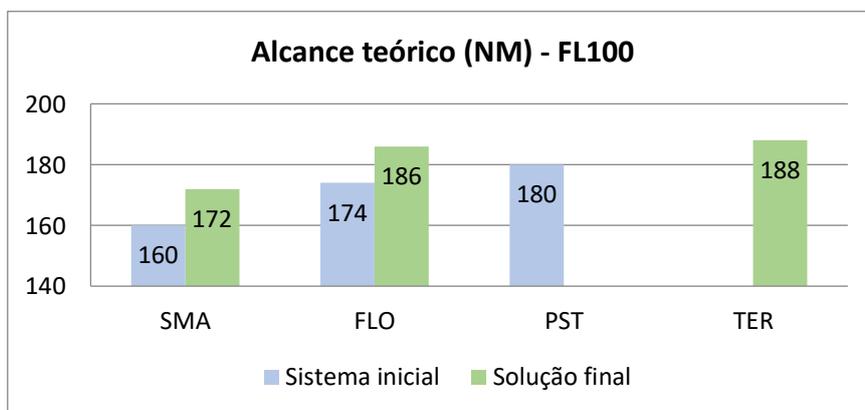


Figura 4.2 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL100

• Resultados obtidos para FL300

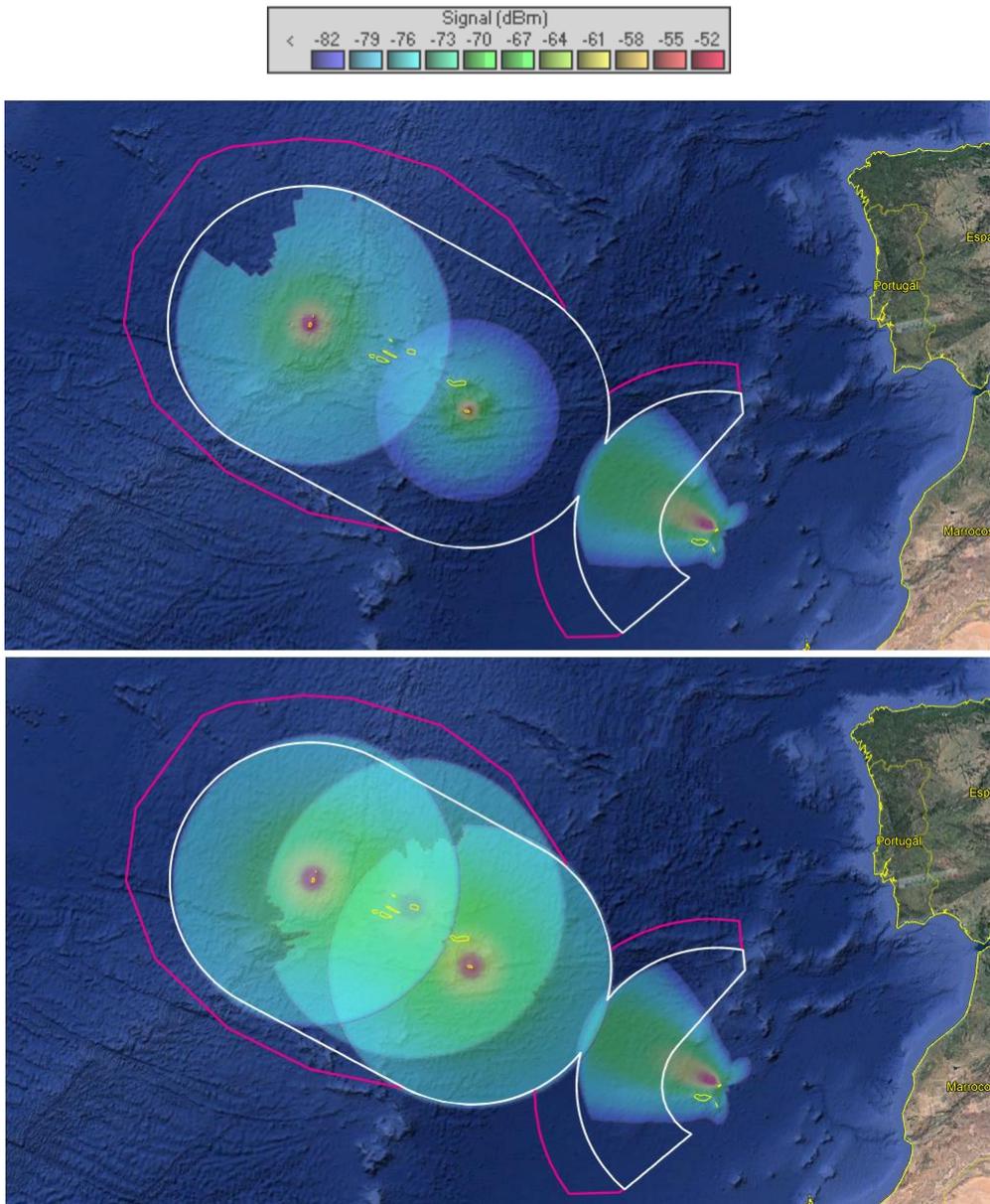


Figura 4.3 - Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL300

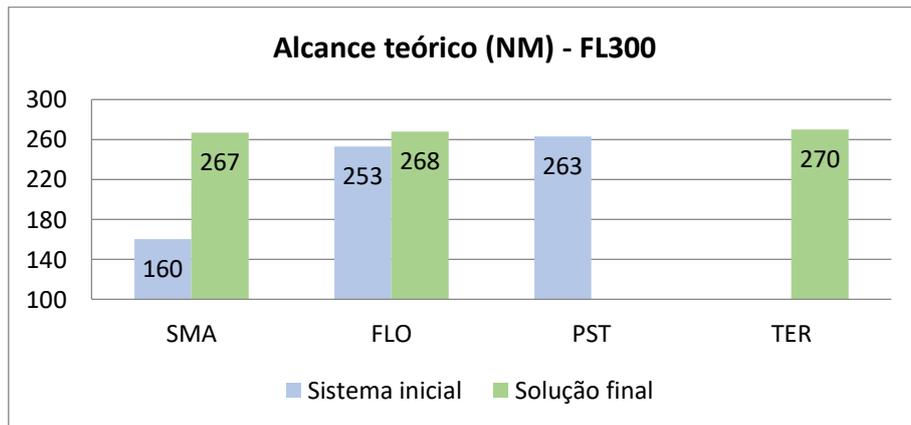


Figura 4.4 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL300

- Resultados obtidos para FL400

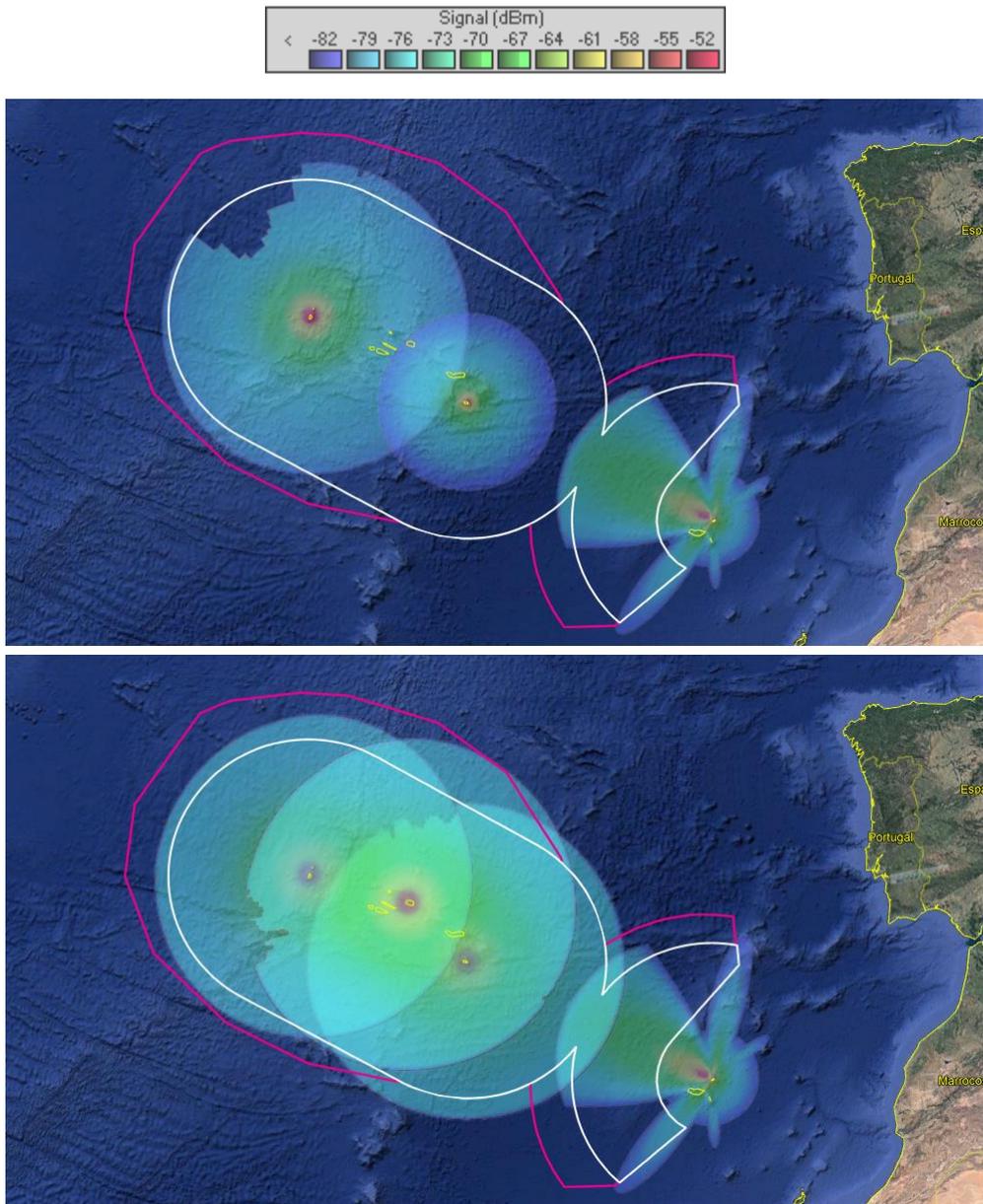


Figura 4.5 – Previsões de cobertura: Sistema inicial vs solução FL400

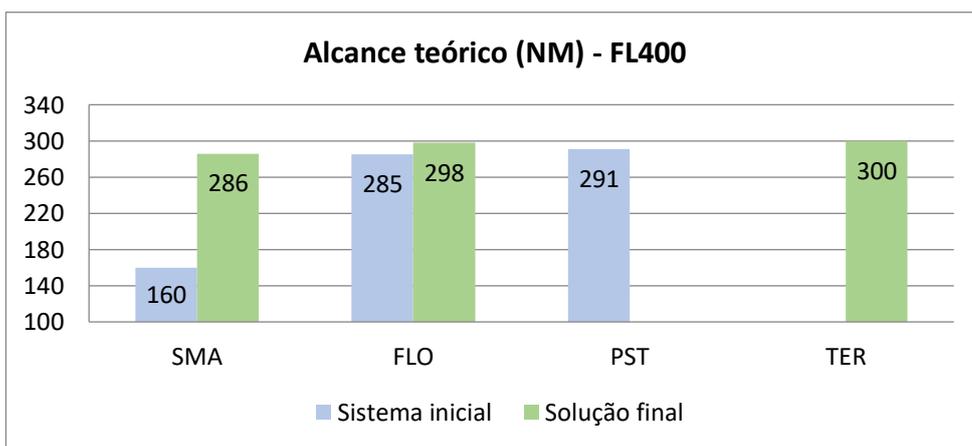


Figura 4.6 - Previsões de alcance VHF: Sistema inicial vs solução FL400

Adicionalmente, na Figura 4.7 constam as estimativas da área abrangida por cobertura VHF nos referidos níveis de voo quer do sistema inicial, quer das soluções propostas. Para a apresentação destes resultados é efetuada uma distinção entre diferentes cenários:

- Estimativa de cobertura do sistema inicial;
- Estimativa de cobertura das soluções propostas aos parques de antenas existentes (não é considerada a implementação do parque de antenas da Ilha Terceira);
- Estimativa de cobertura das soluções propostas considerando a implementação de um parque de antenas na Ilha Terceira.

Desta forma, torna-se mais perceptível os ganhos que esta trará para o serviço.

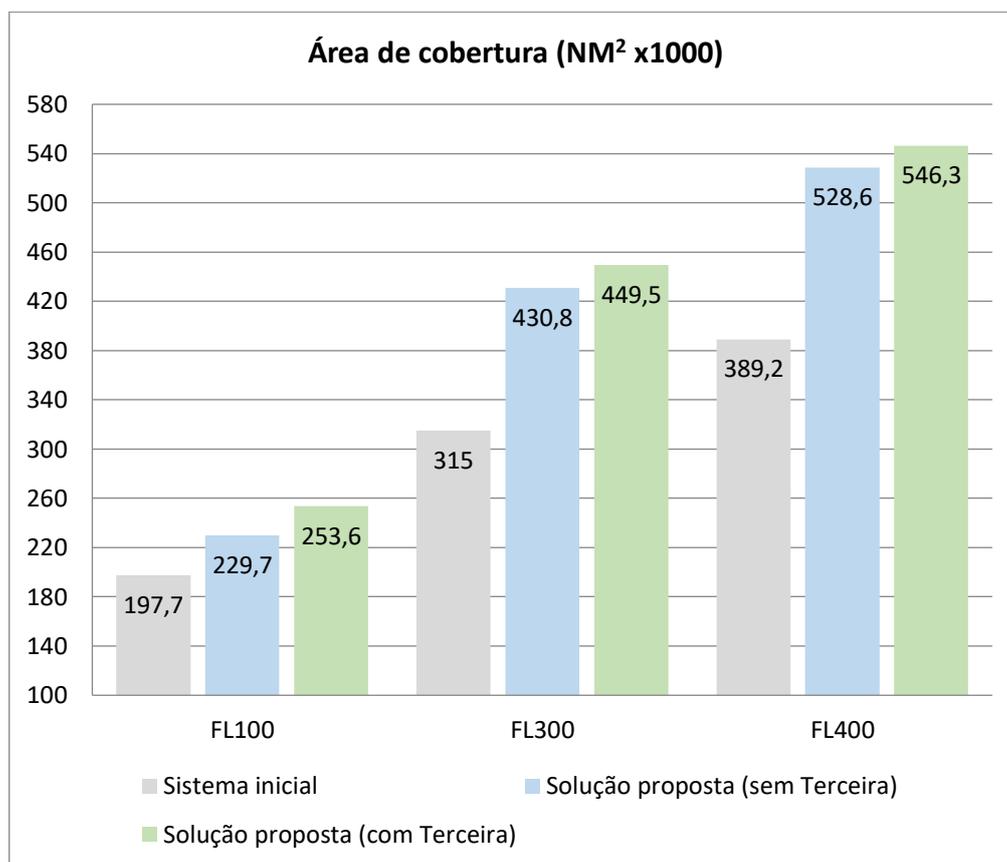


Figura 4.7 - Área total prevista de cobertura VHF

O aumento previsto da área coberta face ao sistema inicial em termos de percentagem pode ser consultado na Tabela 17.

Tabela 17 - Aumento total previsto de cobertura VHF

	FL100	FL300	FL400
<b>Aumento (sem Terceira)</b>	16,2 %	36,8 %	35,8 %
<b>Aumento (com Terceira)</b>	28,3 %	42,7 %	40,4 %

### 4.1.6 Análise dos resultados

Como uma comunicação VHF é efetuada entre dois pontos: a estação base e a aeronave, a altitude a que a aeronave se encontra pode também ser um fator inerente à possibilidade de estabelecer uma comunicação VHF. Enquanto a posição da estação base é estática, a posição da aeronave é variável ao longo do seu deslocamento. Deste modo, o único parâmetro que pode ser considerado quase constante na posição da aeronave é a sua altitude.

A Figura 4.8 visa explicar o conceito abordado. O ponto **H** representa o horizonte do ponto de vista da estação base, sendo este o ponto em linha de vista mais afastado da mesma. As aeronaves (**A** e **B**) encontram-se na mesma posição em termos de latitude e longitude, mas a diferentes níveis de voo. Do ponto de vista da estação VHF, a aeronave **B** encontra-se abaixo da linha do horizonte, não estando em linha de vista com a estação. Por sua vez, a aeronave **A**, por estar a uma altitude mais elevada, já tem linha de vista para a estação base, sendo então possível estabelecer uma comunicação VHF com esta.

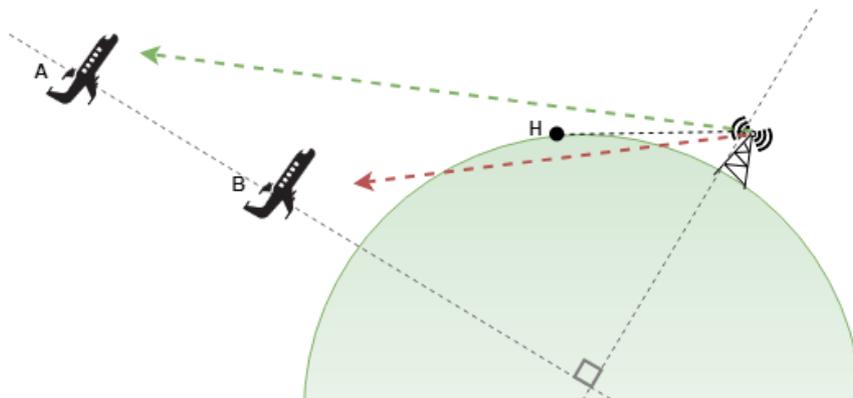


Figura 4.8 - Comunicação VHF com aeronaves a diferentes níveis de voo

Devido a este fenómeno, os resultados obtidos para os níveis de voos menores (como o FL100, por exemplo) apresentam um alcance significativamente menor do que os resultados obtidos para os níveis de voo superiores.

Relativamente aos resultados obtidos no simulador, em primeiro lugar, verifica-se que os valores obtidos para o FL300 enquadram-se nos valores práticos já conhecidos (Tabela 6, secção 3.2.3.3). Desta forma confirma-se mais uma vez que tanto o modelo como o *software* utilizado são apropriados ao uso.

- **Reestruturação do parque de antenas do Pico Alto (Santa Maria)**

No que diz respeito à estação do Pico Alto, como é observado nos resultados obtidos, as melhorias são muito significativas tanto a nível de sinal como de distância alcançada. Este alcance é fruto da substituição das antenas de 0dB existentes e degradadas por novas antenas de 3dB.

No sistema inicial, a degradação do parque de antenas é responsável pelo fato desta estação apresentar valores na ordem das 160 NM de alcance VHF em ambos os níveis de voo. As perdas introduzidas no sistema refletem uma diminuição da potência emitida pelo mesmo, influenciando o seu alcance VHF. Desta forma, ao contrário das outras estações, o alcance VHF da estação do Pico Alto não é limitado parcialmente pela linha de vista, mas sim por fenómenos de atenuação em espaço livre.

Com as soluções propostas, a estação do Pico Alto fica apta a garantir uma cobertura mínima que abranja a área correspondente publicada na AIP (Figura 2.6, secção 2.2.2). Existe, porém, uma ligeira falha de cobertura a aproximadamente aos 340° da estação que se deve à presença da Ilha de São Miguel. Uma vez que a estação do Pico Alto já se encontra no local de maior altitude da Ilha de Santa Maria, considera-se que do ponto de vista desta estação, esta falha mínima é incontornável.

- **Relocalização do parque de antenas da Ilha das Flores**

Em relação ao parque de antenas da Ilha das Flores, o principal constrangimento é a falha na direcção noroeste, a qual é refletida nos resultados obtidos referentes ao sistema atual. Como é observável nos resultados que consideram a migração do parque de antenas para o Morro Alto, esta falha é suprimida visto que este representa o ponto mais alto da Ilha das Flores.

Pelo fato do Morro Alto ter uma altitude superior ao Pico dos Sete Pés (e também devido ao aumento de ganho das antenas) são conseguidos valores de alcance superiores com a solução proposta face ao sistema atual.

- **Implementação de um parque de antenas na Ilha Terceira**

Relativamente ao parque de antenas na Serra de Santa Bárbara (Ilha Terceira), conclui-se que a sua implementação representa ganhos favoráveis. Em primeiro lugar, como pode ser observado nos resultados obtidos referentes ao FL300 e FL400, contribui para uma expansão significativa da cobertura VHF em zonas onde existe cobertura de vigilância e a intensidade de tráfego é maior (ver Figura 3.1, secção 3.1.1).

Para níveis de voo reduzidos, como o FL100, são fortalecidas as comunicações VHF sobre o grupo Central do Arquipélago dos Açores. Além do mais (e mais visível nos níveis de voo mais baixos), a implementação de uma estação VHF na Ilha Terceira cobre a falha de cobertura da estação do Pico Alto (Santa Maria) causada pela Ilha de São Miguel.

Além de abranger novas áreas, também são abrangidas áreas já cobertas pelas estações da Ilha das Flores e Santa Maria. Embora não tão evidente, este fato também revela ser favorável noutros aspetos, tais como:

- Promove uma nova opção adicional aquando da utilização de técnicas e funcionalidades utilizadas para comunicações A/G via VHF como *Climax*, Emissão Seletiva e Método Combinado (ver Apêndice C – “Funcionalidades das comunicações VHF”);
- Cobre todo o arquipélago dos Açores e a área central da TMA onde o Serviço Radar é prestado, pelo que criará resiliência em caso de falhas operacionais noutra estação como a da Ilha das Flores ou a de Santa Maria.

### 4.1.7 Validação dos resultados simulados

De entre as diversas soluções propostas, foi efetuada uma reestruturação do parque de antenas do Pico Alto, a qual foi acompanhada em programa de estágio. O resumo dos trabalhos efetuados no Pico Alto pode ser consultado no Apêndice I – “Resumo de trabalhos: Reestruturação Pico Alto”.

Após a reestruturação do parque de antenas do Pico Alto, as implementações efetuadas foram testadas na CWP de forma a compreender os ganhos obtidos face ao sistema inicial. No que diz respeito aos resultados práticos conseguidos após a reestruturação do parque de antenas do Pico Alto verificou-se:

- **Aumento da cobertura VHF:** verificou-se um aumento significativo de alcance, ultrapassando inclusive os valores teóricos simulados e permitindo cobrir toda a área desejada.
- **Melhoria na relação sinal ruído:** foi comprovada na área abrangida uma melhoria significativa na qualidade e clareza das comunicações. Esta melhoria deveu-se à substituição das antenas e restantes materiais RF e à implementação de filtros de receção.
- **Mitigação de interferências entre antenas:** a separação implementada entre as antenas contribuiu para um isolamento de perturbações eletromagnéticas.

Com estes ganhos, é possível afirmar que as soluções inerentes à reestruturação do parque de antenas do Pico Alto contribuíram para uma melhoria significativa na qualidade dos serviços prestados. Além do mais, os equipamentos utilizados nesta reestruturação demonstraram bons níveis de desempenho e de satisfação.

## 4.2 Validação da interoperabilidade VoIP: VCS – Rádios VHF

Em relação aos sistemas ATM e CNS que utilizam VoIP, diferentes vendedores disponibilizam diferentes produtos desde equipamentos a *softwares*. Por esta razão, aquando da sua implementação, estes devem ser testados com a finalidade de não só avaliar o seu desempenho e qualidade face às necessidades como também garantir o cumprimento com os padrões definidos pela EUROCAE. Além dos testes aos equipamentos, existe também a necessidade de efetuar testes de interoperabilidade de modo a verificar que os diversos equipamentos operam corretamente entre si [37].

### 4.2.1 VOTER – VoIP in ATM Test Suite

Dada a importância destas avaliações, o EUROCONTROL desenvolveu a plataforma **VOTER – VoIP in ATM Test Suite**. Esta ferramenta consiste numa coletânea de testes com o objetivo de averiguar a conformidade e desempenho dos sistemas perante os *standards* definidos pela EUROCAE. Desde então, o VOTER é a ferramenta oficial para o teste dos referidos sistemas e tem sido utilizada por diversas entidades desde as próprias ANSP's, a fabricantes dos equipamentos inerentes aos seus serviços [37].

No âmbito desta dissertação, foi utilizada a versão **VOTER\_3.0.8**, suportada na plataforma TTworkbench, a qual consiste num ambiente de execução de testes baseado em Java.

### 4.2.2 Modelo de teste no VOTER

A realização dos testes é efetuada através de uma ligação entre duas entidades, *Tester* e o *System Under Test* (SUT), como exemplificado na Figura 4.9.

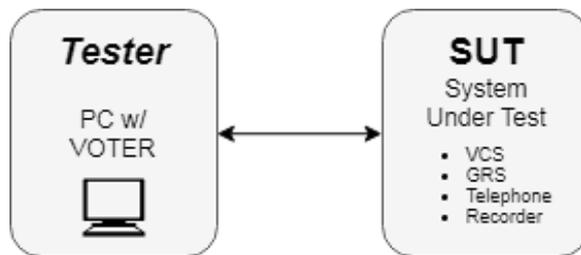


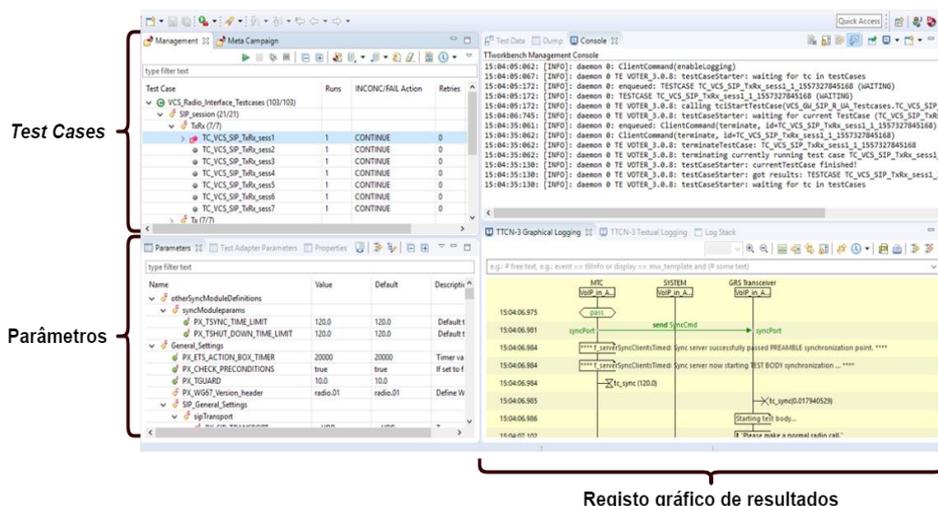
Figura 4.9 - Modelo de testes no VOTER

O *Tester* representa o computador com o VOTER que irá realizar o teste e o SUT representa o equipamento que será testado, podendo este ser o VCS, um rádio (*Ground Radio Station* - GRS), um telefone ou até mesmo um gravador.

Ao efetuar um teste entre dois equipamentos, por exemplo um GRS e o VCS, o *Tester* assume o papel de GRS e interliga-se diretamente ao VCS (considerado como SUT). Desta forma, são testadas as *interfaces* para a comunicação do ponto de vista do VCS. O cenário inverso também é possível, ou seja, o *Tester* assume o papel de VCS e estabelece uma comunicação com o GRS no papel de SUT a fim de o testar.

### 4.2.3 Ambiente de teste

A Figura 4.10 ilustra um cenário a título de exemplo do ambiente de execução dos testes do ponto de vista do *tester*.



Registro gráfico de resultados

Figura 4.10 - Ambiente de testes no VOTER

Como é evidenciado, no canto superior esquerdo consta a coletânea dos mais variados *test cases*. Por baixo, encontram-se a secção onde constam parâmetros inerentes à execução dos testes. Alguns destes parâmetros são definidos pelo utilizador, dependendo do equipamento em testes, outros encontram-se por *default* de acordo com as normas ED-137B. Finalmente, no canto inferior direito é apresentado um registo gráfico onde constam as trocas de mensagens entre o *tester* e o SUT bem como os resultados obtidos no respetivo teste.

### 4.2.4 Testes efetuados no VOTER

Embora este *software* não tenha sido adquirido pela NAV, para a elaboração desta dissertação, foi disponibilizada uma versão *trial* do mesmo.

Os casos de teste que foram efetuados no VOTER encontram-se divididos em dois pacotes distintos:

- **VCS\_Radio\_Interface\_Testcases**, o qual inclui os seguintes *test cases*:
  - TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess1;
  - TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess2;
  - TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head1;
  - TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head3;
  - TC\_VCS\_SDP\_attrib1;
  - TC\_VCS\_SDP\_attrib2;
  - TC\_VCS\_R2S\_1;
  - TC\_VCS\_R2S\_2;

Neste pacote é possível testar as *interfaces* Rádio do VCS (SUT) e verificar a sua conformidade com a norma ED-137B, em que o *Tester* assume o papel de Rádio (GRS).

- **GRS\_Radio\_Interface\_Testcases**, o qual dispõe dos *test cases*:
  - TC\_RAD\_SIP\_sess1;
  - TC\_RAD\_SIP\_sess2;
  - TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head1;
  - TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head2;
  - TC\_RAD\_SIP\_CAN\_Mand\_Head1;
  - TC\_RAD\_SDP\_attrib1;
  - TC\_RAD\_SDP\_attrib2;
  - TC\_RAD\_R2S\_1;
  - TC\_RAD\_R2S\_2;

Este segundo pacote permite o inverso, ou seja, o *Tester* assume o papel de VCS e serão efetuados testes aos equipamentos rádio.

## 4.2.5 Configuração e execução dos testes

### VCS\_Radio\_Interface\_Testcases

O VCS dispõe de duas cartas para comunicação com os rádios VHF (*main e backup*) as quais disponibilizam 15 canais. No âmbito desta dissertação, os testes foram realizados apenas na carta *Main*, visto que o funcionamento da carta *BackUp* é idêntico, sendo a sua função o aumento da resiliência do sistema. Desta forma, na carta *Main*, foi estabelecido um novo canal dedicado exclusivamente à execução dos testes VOTER.

Para efetuar os testes deste pacote, o *Tester* foi interligado ao VCS segundo a lógica apresentada na Figura 4.11.

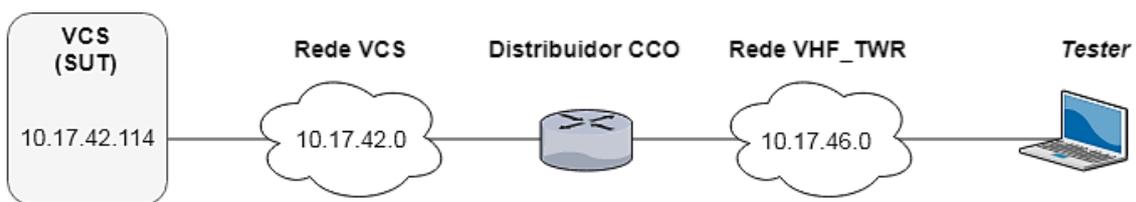


Figura 4.11 - Ligação lógica entre o Tester e o VCS

Neste cenário, é possível observar que o VCS se encontra na rede 10.17.42.0/24 e comunica com a rede dos rádios VHF da Torre de Controlo (VHF\_TWR: 10.17.46.0/24) através de roteamento feito pelo distribuidor do CCO. Para efeitos de teste, foi escolhida a rede VHF\_TWR por a sua ligação física ser mais conveniente e o roteamento até ao VCS já existir, simulando deste forma o ambiente real de operação.

### Passos preparatórios

Primeiramente foi alterado o IP do *Tester* para que este esteja na rede 10.17.46.0/24 (Figura 4.12) e foi ligado fisicamente à respetiva porta do distribuidor (Figura 4.13).

Utilizar o seguinte endereço IP:

Endereço IP:	10 . 17 . 46 . 3
Máscara de sub-rede:	255 . 255 . 255 . 0
Gateway predefinido:	10 . 17 . 46 . 254

Figura 4.12 - Configuração do IP no Tester (rede VHF\_TWR)



Figura 4.13 - Ligação física do Tester ao distribuidor do CCO

Para testar a conectividade com o VCS, foi efetuado um *ping* para a carta *main* do VCS.

Para a execução dos testes disponíveis referentes ao pacote **VCS\_Radio\_Interface\_Testcases** foram configurados no VOTER os seguintes parâmetros:

- Para o *Tester*:

Tabela 18 - Configurações no Tester - VCS\_Radio\_Interface\_Testcases

Parâmetro	Valor	Observações
userpart	teste	User SIP definido para o <i>Tester</i>
domain	10.17.46.3	IP definido no <i>Tester</i>
ipAddress	10.17.46.3	IP definido no <i>Tester</i>
portNumber	5060	-

- Para o SUT (VCS):

Tabela 19 - Configurações do SUT - VCS\_Radio\_Interface\_Testcases

Parâmetro	Valor	Observações
userpart	VCS1	User SIP da carta do VCS
domain	10.17.42.114	IP da carta <i>Main</i> do VCS
ipAddress	10.17.42.114	IP da carta <i>Main</i> do VCS
portNumber	5060	-

Os restantes parâmetros forem deixados com os valores *default*. Uma abordagem mais detalhada dos parâmetros introduzidos consta no Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER”.

Neste pacote de testes, ao executar os testes, o VOTER solicita que seja efetuada uma chamada rádio no VCS para o *Tester* (que assume o papel de rádio) (Figura 4.14).

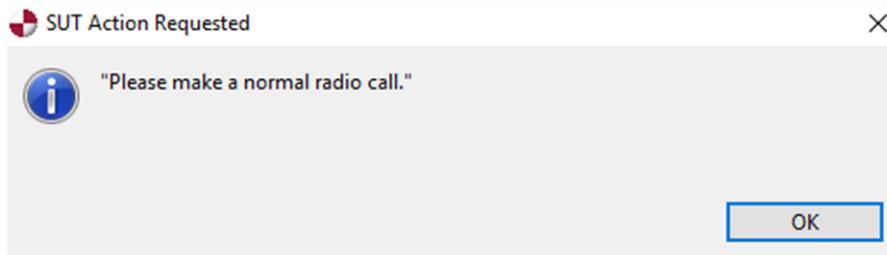


Figura 4.14 - Pedido de chamada no VCS para o Tester

Esta chamada foi efetuada no VCS, mais concretamente no canal dedicado para efeitos de teste (Figura 4.15).

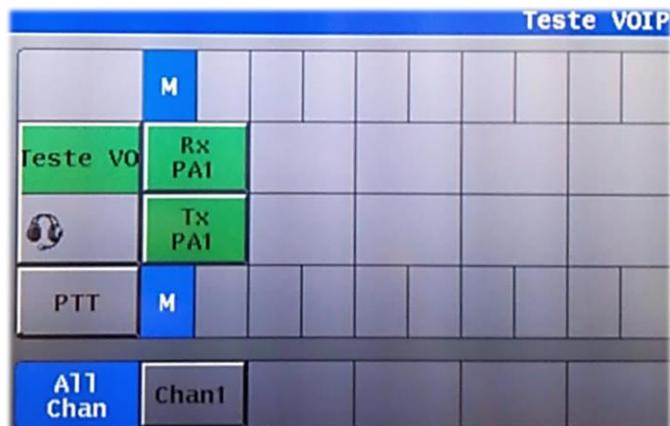


Figura 4.15 - Chamada rádio efetuada no VCS

### GRS\_Radio\_Interface\_Testcases

Através deste pacote de testes foram testados os equipamentos rádio da estação do Pico Alto, mais concretamente os dedicados à frequência 127.9 MHz.

A escolha desses rádios em concreto deveu-se ao fato de não estarem a ser utilizados de momento, não interferindo assim com as operações de controlo de tráfego aéreo a decorrer. Todos os rádios VHF Tx e Rx utilizados no CCO de Santa Maria são iguais (mesma marca, modelo e versão de *software*, ou seja, protocolos de comunicação idênticos), portanto as conclusões retiradas dos testes efetuados nestes dois rádios aplicam-se a todos os outros.

Para tal, como ilustrado na Figura 4.16, o *Tester* foi ligado na rede do VCS (10.17.42.0/24). Desta forma, através do distribuidor do CCO, que por sua vez interliga o do Pico Alto, foi possível aceder aos equipamentos rádio do Pico Alto que se encontram na rede 10.18.46.0/24. Assim, os testes são efetuados aos equipamentos terminais (rádios), na rede efetivamente em operação.

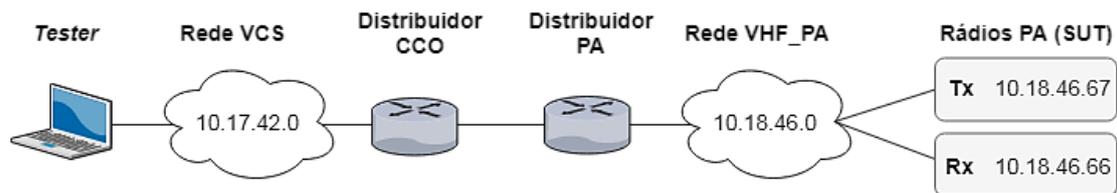


Figura 4.16 - Ligação lógica entre o Tester e os rádios VHF da estação do Pico Alto

Para o efeito, o IP do *Tester* foi alterado para que este pertença à rede do VCS (Figura 4.17) e o mesmo foi ligado na porta adequada do distribuidor (cenário semelhante ao ilustrado na Figura 4.13).

Utilizar o seguinte endereço IP:

Endereço IP:	10 . 17 . 42 . 20
Máscara de sub-rede:	255 . 255 . 255 . 0
Gateway predefinido:	10 . 17 . 42 . 254

Figura 4.17 - Configuração do IP no Tester (rede VCS)

Posteriormente, e a fim de testar a conectividade IP com os equipamentos rádios, foi efetuado um *ping* para os rádios transmissor e recetor.

Para a execução dos testes disponíveis referentes ao pacote **GRS\_Radio\_Interface\_Testcases** foram configurados no VOTER os seguintes parâmetros:

- Para o *Tester*:

Tabela 20 - Configurações no Tester - GRS\_Radio\_Interface\_Testcases

Parâmetro	Valor	Observações
ipAddress	10.17.42.20	IP definido no <i>Tester</i>
portNumber	5060	-

- Para o SUT (Rádio Transmissor e Rádio Recetor):

Tabela 21 - Configurações do SUT (Emissor) - GRS\_Radio\_Interface\_Testcases

Parâmetro	Valor	Observações
grsType	e_Transmitter	Tipo de Rádio
userpart	900	User SIP do Rádio
ipAddress	10.18.46.67	-
portNumber	5060	-

Tabela 22 - Configurações do SUT (Recetor) - VCS\_Radio\_Interface\_Testcases

Parâmetro	Valor	Observações
grsType	e_Receiver	Tipo de Rádio
userpart	900	User SIP do Rádio
ipAddress	10.18.46.66	-
portNumber	5060	-

Os restantes parâmetros disponíveis foram deixados com os valores de *default*. Uma abordagem mais detalhada dos parâmetros introduzidos pode ser encontrada no Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER”.

## 4.2.6 Resultados obtidos e análise

### Interpretação de resultados

Aquando da execução de cada *test case*, é extraído do VOTER um *output* gráfico onde constam as mensagens trocadas entre três elementos: MTC, SUT e *Tester*.

MTC refere-se a *Main Test Component*, que é a entidade que gere o comportamento de cada *test case*. As mensagens trocadas no MTC são apenas usadas para efeitos de sincronização interna e não estão presentes na comunicação entre o *Tester* e o SUT pelo que, na ótica do utilizador, podem ser ignoradas.

Entre o *Tester* e o SUT são trocadas diversas mensagens, dependendo do objetivo de cada *test case*, as quais são avaliadas automaticamente pelo VOTER no decorrer do teste com a finalidade de validar a sua conformidade com a norma ED-137B da EUROCAE. Do ponto

de vista do utilizador, os resultados obtidos em cada *test case* são interpretados da seguinte forma:

- **PASS:** o teste foi efetuado corretamente e o SUT em questão cumpre com a norma ED-137B;
- **FAIL:** o teste foi efetuado corretamente, mas o SUT não cumpre com a norma ED-137B;
- **ERROR/INCONCLUSIVE:** o teste e/ou a configuração não foi efetuado corretamente e não foi possível concluir se o SUT cumpre ou não com a norma ED-137B.

Sendo assim, o objetivo passa por efetuar corretamente os testes de forma a obter conclusões válidas sobre os mesmos. O cenário ideal caracteriza-se pela obtenção do grau **PASS** nos testes efetuados.

### Resultados dos testes

De forma sintetizada, os resultados que foram obtidos para cada *test case* efetuado referente ao VCS e aos equipamentos de Rádio VHF encontram-se descritos na Tabela 23 e na Tabela 24, respetivamente.

*Tabela 23 - Resultados dos testes efetuados ao VCS*

<i>Test_case</i>	<b>Resultado</b>
TC_VCS_SIP_TxRx_sess1	PASS
TC_VCS_SIP_TxRx_sess2	PASS
TC_VCS_SIP_Mand_Head1	PASS
TC_VCS_SIP_Mand_Head3	PASS
TC_VCS_SDP_attrib1	PASS
TC_VCS_SDP_attrib2	PASS
TC_VCS_R2S_1	PASS
TC_VCS_R2S_2	PASS

*Tabela 24 - Resultados dos testes efetuados aos equipamentos rádio*

<i>Test_case</i>	<b>Resultado</b>	
	<b>Emissor</b>	<b>Recetor</b>
TC_RAD_SIP_sess1	PASS	PASS
TC_RAD_SIP_sess2	PASS	PASS
TC_RAD_SIP_INV_Mand_Head1	PASS	PASS
TC_RAD_SIP_INV_Mand_Head2	PASS	PASS
TC_RAD_SIP_CAN_Mand_Head1	PASS	PASS
TC_RAD_SDP_attrib1	PASS	PASS
TC_RAD_SDP_attrib2	PASS	PASS
TC_RAD_R2S_1	PASS	PASS
TC_RAD_R2S_2	PASS	PASS

A descrição e o *output* extraído de cada *test case* efetuado podem ser consultados no Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases” e no Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”. Para cada um dos pacotes, é efetuada uma análise mais elaborada no primeiro *test case* de forma a facilitar a interpretação dos restantes resultados.

As conclusões finais relativamente a todo este processo encontram-se no capítulo 5 desta dissertação.

### 4.3 Matriz de *compliance* da nova rede de comunicações

Após analisar a solução proposta em função dos objetivos iniciais relativos ao planeamento da rede de comunicações IP, verifica-se que as questões relacionadas com a resiliência, escalabilidade, QoS e segurança foram devidamente consideradas e asseguradas, permitindo assim o cumprimento dos requisitos estipulados.

Na Tabela 25 é efetuada uma matriz de *compliance* de forma a distinguir onde os requisitos são cumpridos:

- **E** – Requisitos a garantir nos equipamentos utilizados;
- **P** – Requisitos a impor às entidades provedoras de serviços de telecomunicações.

Tabela 25 - Matriz de *compliance* entre a planificação da rede ATM e os requisitos estipulados

Requisito	Categoria	Observações
SRV-1	P	De acordo com o especificado na secção 3.4.3.5.
SRV-2	P	
SRV-3	P	
SRV-4	P	
INT-1	E	Devem ser disponibilizados os interfaces mencionados nestes requisitos.
INT-2	E	
INT-3	E	
INT-4	E	
NET-1	P	De acordo com o especificado na secção 3.4.3.3
NET-2	P	n/a
NET-3	P	n/a
NET-4	P/E	De acordo com o especificado na secção 3.4.3.2 e 3.4.3.3
NET-5	P	n/a
NET-6	P	De acordo com o especificado na secção 3.4.2.4
NET-7	P	
NET-8	P	
NET-9	P	Propostas ligações via feixes hertzianos e via satélite na secção 3.4.3.3
NET-10	P	
NET-11	P	
NET-12	E	n/a
NET-13	P	
NET-14	P	
ARQ-1	E	Os equipamentos/sistemas utilizados devem permitir as características mencionadas nestes requisitos.
ARQ-2	E	
ARQ-3	E	

ARQ-4	E	
ARQ-5	E	Garantido pela arquitetura <i>Enterprise Campus</i> (secção 3.4.2.2)
ARQ-6	E	
ARQ-7	E	
ARQ-8	E	
ARQ-9	E	n/a
SMC-1	E	Não aplicável à rede. Os equipamentos utilizados devem disponibilizar as características indicadas nestes requisitos.
SMC-2	E	
SMC-3	E	
SMC-4	E	
SMC-5	E	
SEG-1	E	De acordo com as considerações tidas na secção 3.4.3.6
SEG-2	P/E	
SEG-3	E	n/a
SEG-4	E	De acordo com as considerações tidas na secção 3.4.3.6
SEG-5	E	
SEG-6	E	
SEG-7	E	
SEG-8	E	
SEG-9	E	
SEG-10	E	

# **Capítulo 5**

## **Conclusões e evoluções futuras**

## 5.1 Conclusões

Nesta fase do documento são apresentadas as conclusões e benefícios alcançados com as soluções que esta dissertação propõe relativamente a cada um dos temas abordados:

- *Upgrade* da cobertura VHF do Serviço Radar (**B\_VHF.x**);
- Comunicações A/G por VoIP do Serviço Radar (**B\_VoIP.x**);
- Rede de comunicações ATM (**B\_RedeIP.x**).

Posteriormente é efetuado um sumário das conclusões obtidas com a realização deste projeto.

### 5.1.1 *Upgrade* da cobertura VHF do Serviço Radar

Relativamente à cobertura VHF para a prestação do Serviço Radar, como demonstrado nos resultados obtidos e evidenciado na respetiva análise dos mesmos (secção 4.1), conclui-se que as soluções propostas apresentam diversos benefícios para a qualidade das comunicações inerentes a este serviço, tais como:

- **B\_VHF. 01 - Aumento significativo da área de cobertura VHF**

A cobertura VHF aumenta significativamente com a implementação de uma estação VHF na Ilha Terceira bem como as restantes reestruturações sugeridas (42,7% para o FL300). O fato de serem consideradas antenas com um maior ganho que as atuais e que estas sejam localizadas em locais privilegiados contribui para um maior alcance VHF em redor de cada estação.

- **B\_VHF. 02 - Resolução de problemas de implementação encontrados no sistema atual**

Além dos problemas de cobertura em algumas das estações, as soluções propostas também visam resolver (e até mesmo prevenir) problemas de implementação que afetam a qualidade das comunicações.

- **B\_VHF. 03 - Frequência de emergência em todas as estações**

A implementação da frequência de emergência (121.5 MHz) em todas as estações revela uma grande utilidade visto que permite o estabelecimento de comunicações neste canal numa área muito mais abrangente. É de salientar que esta frequência é inerente a todos os serviços de ATM prestados na FIR de Santa Maria. Com a implementação desta frequência nas estações inerentes ao Serviço Radar conclui-se que a área abrangida pela mesma coincide com a área abrangida pelos canais VHF do Serviço Radar.

- **B\_VHF. 04 - Maior disponibilidade da cobertura VHF**

A implementação de uma estação VHF na Ilha Terceira disponibiliza uma cobertura VHF sobre todo o arquipélago dos Açores podendo ser utilizada para garantir as comunicações sobre o mesmo no caso de falha de outra estação (Pico Alto ou Morro Alto).

- **B\_VHF. 05 – Melhoria de qualidade e ampliação das funcionalidades utilizadas nas comunicações VHF**

Uma nova estação VHF na Ilha Terceira representa um meio alternativo para aplicar as funcionalidades utilizadas pelos CTA's no estabelecimento de comunicações A/G via VHF tais como o *Climax*, a Emissão Seletiva e Método Combinado.

- **B\_VHF. 06 - Benefícios inerentes à expansão do Serviço Radar**

Os benefícios inerentes à prestação do Serviço Radar (como uma separação mínima entre duas aeronaves) são aplicáveis a novas áreas de acordo com os níveis de expansão do mesmo. Sendo assim, nestas novas áreas é promovida uma melhor qualidade e eficiência no controlo de tráfego aéreo.

- **B\_VHF. 07 - Ganhos económicos com a expansão do Serviço Radar**

Como referido na secção 2.2, a prestação do Serviço Radar está diretamente ligada não só com a cobertura de vigilância, mas como também com a de VHF. Com a expansão da cobertura VHF para novas áreas de grande afluência de tráfego aéreo onde já existe cobertura de vigilância, torna-se agora possível expandir este serviço nas áreas previstas nas simulações. Os ganhos económicos relacionados com a expansão do Serviço Radar prendem-se pelo fato das taxas de rota serem consideravelmente superiores nas áreas onde é prestado o Serviço Radar face às regiões externas oceânicas. A Figura 5.1 ilustra a cobertura de VHF teórica conseguida no FL300 com a implementação de uma estação na Ilha Terceira em função das coberturas já existentes e das áreas de interesse.

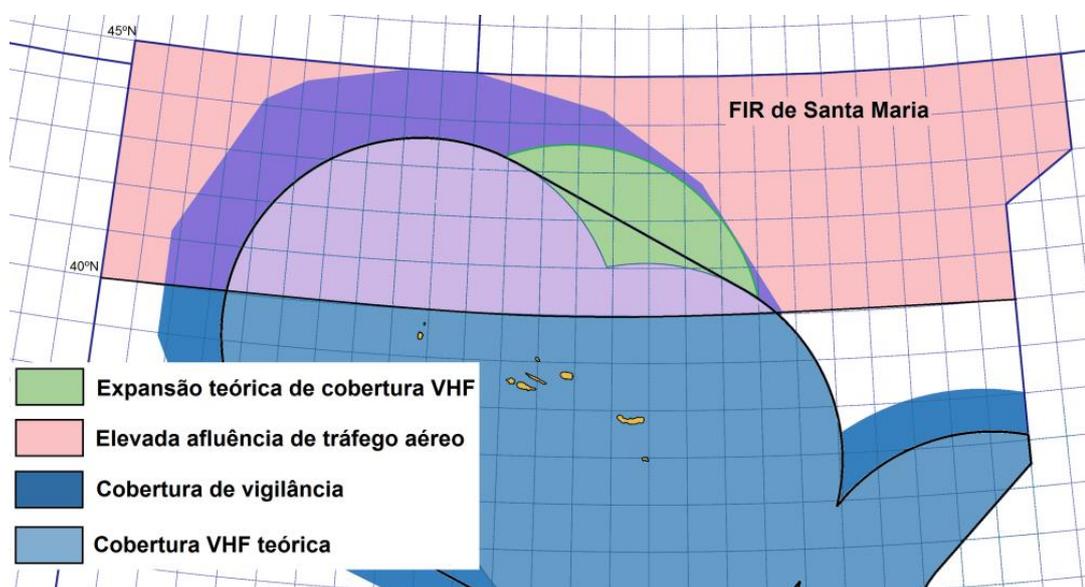


Figura 5.1 - Expansão teórica VHF com estação na Ilha Terceira (FL300)

### 5.1.2 Comunicações A/G por VoIP do Serviço Radar

Com as soluções respetivas à aplicação do VoIP nos equipamentos inerentes às comunicações A/G pode-se verifica-se:

- **B\_VoIP. 01 - Cumprimento com as normas de interoperabilidade do ambiente regulatório**

Como se verificou no *output* dos *test\_cases* efetuados tanto os equipamentos rádio como o VCS tiveram o comportamento esperado aquando da execução de cada teste. A obtenção do grau PASS nos casos de teste efetuados representa resultados bastante satisfatórios, permitindo assim concluir que, para os testes efetuados, os equipamentos testados encontram-se funcionais e de acordo com as normas exigidas pelas entidades reguladoras relativamente à sua interoperabilidade VoIP. Sendo assim, reforça-se a ideia de que os *upgrades* efetuados (nomeadamente a implementação do novo VCS 3020X da Frequentis e os módulos VoIP nos rádios VHF da JOTRON) representam soluções viáveis e adequadas ao uso.

- **B\_VoIP. 02 - Modernização dos sistemas utilizados**

Tal como verificado, tanto o novo VCS como os equipamentos rádio permitem que as comunicações sejam prestadas recorrendo a métodos atuais e modernos (VoIP). No caso concreto do VCS, em relação ao equipamento anterior o novo VCS representa um sistema de última geração de alto desempenho e resiliência que não só é compatível com os sistemas *legacy* como também permite acomodar evoluções e funcionalidades atuais e futuras.

- **B\_VoIP. 03 - Maior flexibilidade e utilização concorrente dos meios.**

No caso das comunicações VHF do Serviço Radar, com a utilização do VoIP torna-se possível aceder aos diversos equipamentos (como rádios VHF) de forma mais flexível e dinâmica.

### 5.1.3 Rede de comunicações ATM

Finalmente, no que diz respeito ao planeamento da rede de comunicações ATM podem ser retiradas várias conclusões em diversos aspetos como:

- **B\_RedeIP. 01 - Consistência com o ambiente regulatório**

O planeamento da nova rede foi elaborado não só de acordo com o que é definido no estado da arte de uma rede ATM, mas como também em função do ambiente regulatório e de boas práticas. Desta forma, e como verificado na matriz de *compliance* na secção 4.3, conclui-se que a planificação efetuada permite acomodar os requisitos estabelecidos sendo que as

considerações referentes à resiliência, escalabilidade, QoS e segurança da rede são asseguradas.

- **B\_RedeIP. 02 - Resolução de problemas presentes na rede de comunicações atual**

O fato de ser necessário a implementação de uma nova rede de suporte aos sistemas de ATM possibilita a resolução de problemas encontrados na rede atual. Sendo assim, no planejamento da nova rede foram consideradas diversas questões que, de uma forma ou de outra, desfavorecem a rede de comunicações atual, tais como:

- Inexistência de redundâncias e de circuitos alternativos que assegurem a continuidade dos serviços;
- Existência de diversos circuitos externos à rede Multinet;
- Largura de banda limitada.

- **B\_RedeIP. 03 - Maior independência de prestadores de serviços de telecomunicações**

Ao contrário da rede Multinet, a nova solução permite que seja a própria NAV a definir os túneis VPN desejados bem como a efetuar a monitorização e manutenção da rede, promovendo a independência de entidades *provider*.

- **B\_RedeIP. 04 - Redução dos custos de operação**

O aluguer de uma infraestrutura MPLS apresenta um custo reduzido face ao aluguer de uma infraestrutura Frame Relay visto que esta está a ser abandonada pelos prestadores de serviços de telecomunicações, que atualmente disponibilizam o MPLS. O fato da nova rede MPLS agregar todos os circuitos e respetivos serviços e de não implicar tanta assistência da entidade *provider* também contribui para uma redução de custos. Após uma comparação do orçamento de operação dado pelo *provider* para a nova rede com a faturação da rede atual verifica-se uma redução de custos bastante favorável.

- **B\_RedeIP. 05 - Aumento da escalabilidade da rede de comunicações**

O fato de ser uma rede única e comum a todos os serviços com uma largura de banda bastante favorável contribui para a escalabilidade da mesma. A largura de banda sugerida permite a implementação de novos serviços e o estabelecimento de novas ligações. Caso esta se esgote (o que será improvável) existe sempre a facilidade e possibilidade de expandir a largura de banda existente.

- **B\_RedeIP. 06 - Suporte à total migração para sistemas IP e continuidade dos serviços prestados**

Com uma única rede de comunicações suportada por MPLS e com os *interfaces* de acesso apropriados é possível suportar tanto sistemas IP como sistemas *legacy*. Isto permite que a migração para sistemas totalmente à base de IP seja efetuada de forma suave sem que a continuidade dos serviços seja comprometida.

### 5.1.4 Sumário das conclusões

Em suma, e uma vez que este projeto teve um maior foco na prestação do Serviço Radar, conclui-se que com as soluções propostas é possível elevar a sua prestação, grau de qualidade e eficiência em termos de comunicações de voz. Torna-se possível estabelecer comunicações VHF com mais qualidade numa área muito mais vasta que atualmente, abrangendo um maior número de aeronaves. Visto que as soluções aplicadas ao parque de antenas do Pico Alto apresentaram resultados bastante satisfatórios a todos os níveis, conclui-se que o modelo utilizado, de fato, permite uma prestação de excelência das comunicações A/G utilizadas no Serviço Radar.

Estas comunicações de voz, por sua vez, podem agora ser transmitidas e recebidas por VoIP entre a CWP e os equipamentos rádio inerentes às mesmas. Quanto à ferramenta utilizada (VOTER), a sua prestação foi bastante satisfatória visto que esta permitiu concluir de forma segura e fiável a certificação dos equipamentos nos testes efetuados. Desta forma, conclui-se sua aquisição por parte da NAV será vantajosa uma vez que esta ferramenta permitirá não só aplicar mais casos de teste como também testar e certificar a interoperabilidade entre outros sistemas e equipamentos (como por exemplo telefones e gravadores VoIP) inerentes aos serviços prestados. É de salientar que esta ferramenta também permite verificar requisitos operacionais relacionados com a rede de comunicações ATM, pelo que será útil após a sua implementação.

Com uma rede de comunicações ATM conforme planificado, além de suportar as novas tecnologias VoIP implementadas, torna-se possível assegurar todas as comunicações (quer de voz quer de dados) inerentes aos restantes serviços prestados na FIR de Santa Maria. Com as soluções propostas para a rede de comunicações, torna-se possível suportar os serviços *legacy*, os serviços em fase de migração para IP e os serviços que já são baseados em IP. Tudo isto de forma segura, resiliente, flexível e escalável, estando a rede apta às futuras gerações tecnológicas.

Finalmente, considerando a importância de prestação do Serviço Radar para a sociedade, e tendo em conta que este serviço é prestado numa região delegada a Portugal, as soluções propostas visam permitir que a NAV o preste da melhor forma, elevando-o à altura da competitividade operacional e tecnológica.

## 5.2 Evoluções futuras

### 5.2.1 Trabalho futuro a ser realizado

Após a implementação das soluções propostas, a evolução deste projeto passa por enquadrá-lo num ciclo de melhoria contínua. Como tal, deve ser aplicado um conjunto de práticas, como por exemplo o modelo *Six Sigma*, cujo objetivo é promover o progresso e a evolução gradual do projeto. Um exemplo de trabalho futuro seria, no caso da cobertura VHF, promover mecanismos de monitoria da mesma. Esta monitoria poderá ser efetuada de forma sistemática (através de uma constelação de recetores terrestre ou através de *flight checks*), complementando a auditoria efetuada através de inquéritos às aeronaves.

Uma vez que a metodologia adotada para a realização do projeto demonstrou resultados satisfatórios, como trabalho futuro, esta metodologia deverá ser aplicada a outros sistemas de comunicações de voz utilizados noutros serviços quer na FIR de Santa Maria, quer na FIR de Lisboa.

### 5.2.2 Mudança de paradigma na prestação dos ATS

O *upgrade* do VCS e dos equipamentos rádio para o suporte do VoIP representam o primeiro passo para uma migração total dos sistemas para tecnologias IP. Futuramente, avança-se para *upgrade* a todos os restantes equipamentos e sistemas de ATM e CNS em função das tecnologias de última geração. Isto inclui introduzir a comunicação IP nos restantes sistemas de comunicações, navegação e de vigilância promovendo a sua interoperabilidade, o que permitirá prestar os ATS's de forma mais direta e eficiente. No caso concreto das comunicações identificam-se os equipamentos de gravação, telefone e rádios utilizados noutros serviços que deverão ser migrados também para novas soluções VoIP e garantir o cumprimento das normas definidas pela EUROCAE.

Uma única rede IP que interliga todos os sistemas e equipamentos (que por sua vez serão interoperáveis entre si) remete para uma mudança disruptiva e revolucionária na forma como os serviços são suportados. Esta mudança de paradigma remete para os princípios do *Internet of Things* (IoT), os quais passarão a ser aplicados no ramo da navegação aérea. Todos os sistemas poderão partilhar recursos e comunicar entre si de uma forma cooperativa como nunca foi antes possível.

É de salientar que, tal como já foi abordado, esta migração não está inerente apenas à NAV Portugal, mas sim a todas as ANSP's abrangidas pelo programa SESAR 2020. A agregação de sistemas interoperáveis na mesma rede permitirá que estes colaborem entre si tanto a nível interno (sistemas da mesma ANSP), como com os sistemas de outras ANSP's.

Assim sendo, é criado um vasto leque de oportunidades para a implementação de novas funcionalidades numa filosofia de IoT que visam acudir as novas exigências originadas pelo constante aumento de tráfego. Isto significa que no futuro, quando a migração para IP estiver concluída, os benefícios da mesma aplicam-se a uma escala europeia, o que irá otimizar a prestação de serviços de ATS em todo o espaço aéreo europeu de acordo com os objetivos definidos no programa SESAR 2020.



## Referências

- [1] EUROCONTROL, “European Aviation in 2040 - Challenges of growth”, 2018.
- [2] European Commission, “SESAR 2020: Developing the Next Generation of European Air Traffic Management”, 2016.
- [3] NAV Portugal, “Dados de Tráfego”, *NAVegar*, Lisboa, pp. 22, 23, Feb-2019.
- [4] Frequentis, “White paper: Seamless migration.” 2018.
- [5] “NAV Portugal - Espaço aéreo.” [Online]. Available: <https://www.nav.pt/nav/serviços-de-navegação-aérea-1>. [Accessed: 22-Feb-2019].
- [6] “NAV - O que fazemos.” [Online]. Available: <https://www.nav.pt/nav/quem-somos/o-que-fazemos>. [Accessed: 13-Jan-2019].
- [7] “NAV Portugal - Missão.” [Online]. Available: <https://www.nav.pt/nav/quem-somos>. [Accessed: 13-Jan-2019].
- [8] IVAO HQ training department, “Airspace structure.” 2015.
- [9] “Terminal Manoeuvring Area.” [Online]. Available: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Terminal+Manoeuvring+Area>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [10] “Altitude, Flight Level and Height - SKYbrary Aviation Safety.” [Online]. Available: [https://www.skybrary.aero/index.php/Altitude,\\_Flight\\_Level\\_and\\_Height](https://www.skybrary.aero/index.php/Altitude,_Flight_Level_and_Height). [Accessed: 15-Jul-2019].
- [11] Authority Civil Aviation, “Communication, Navigation and Surveillance.” [Online]. Available: <http://www.tcicaa.org/operations-and-safety/airspace/communication-navigation-and-surveillance>. [Accessed: 02-Jan-2019].
- [12] ICAO, “DOC 9750 - Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems.” 2002.
- [13] NAV Portugal, “AIP - Theoretical SSR/MLAT/ADS-B Surveillance Coverage Area-Santa Maria FIR.” 2016.
- [14] NAV Portugal, “AIP - Theoretical VHF Coverage.” 2016.
- [15] ICAO, “DOC 9718 - Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation.” 2013.
- [16] NAV Portugal, “Cobertura VHF para Prestação do Serviço RADAR na FIR de Santa Maria.” 2017.
- [17] EUROCAE, “ED-136 VoIP ATM System Operation ad Technical Requirements.” 2009.
- [18] EUROCAE, “ED-137B Interoperability Standards for VoIP ATM Components - Part 1: Radio.” 2009.
- [19] EUROCAE, “ED-137B Interoperability Standards for VoIP ATM Components - Part 2: Telephone.” 2009.

## Referências

---

- [20] EUROCAE, “ED-137B Interoperability Standards for VoIP ATM Components - Part 3: Recording.” 2009.
- [21] EUROCAE, “ED-137B Interoperability Standards for VoIP ATM Components - Part 4: Supervision.” 2009.
- [22] EUROCAE, “ED-138 Network Requirements and Performances for VoIP ATM Systems - Part 1: Network Specification.” 2009.
- [23] EUROCAE, “ED-138 Network Requirements and Performances for VoIP ATM Systems - Part 2: Network Design Guideline.” 2009.
- [24] “VoIP-in-ATM.” [Online]. Available: <https://www.atc-network.com/atc-courses/voip-in-atm>. [Accessed: 21-Feb-2019].
- [25] R. Van Wijk, “Modern Air Traffic Management Demands a Modern Communications Network,” *Aviat. Pros*, 2018.
- [26] Frequentis, “ATM\_VCS3020X Voice Communication System.” [Online]. Available: [https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ\\_ATM\\_VCS3020X\\_E.pdf](https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-05/FRQ_ATM_VCS3020X_E.pdf). [Accessed: 22-Apr-2019].
- [27] Frequentis, “VCS 3020X and smart3020X - Product Description,” 2014. [Online]. Available: [https://cssrf.com/wp-content/uploads/2018/06/02B\\_Product\\_Description\\_3020X\\_Rev.0.1\\_V1.0.pdf](https://cssrf.com/wp-content/uploads/2018/06/02B_Product_Description_3020X_Rev.0.1_V1.0.pdf).
- [28] CISCO, “Enterprise Campus 3.0 Architecture.” 2008.
- [29] “Submarine Cable Map.” [Online]. Available: <https://www.submarinecablemap.com/>.
- [30] NAV Portugal, “CAFSAT - Air Traffic Safety Electronics Personnel - SMC-SMA Rating.” .
- [31] D. Cheng, G. Han, and Y. Pan, “Analysis and Application of Frame Relay”, 2018.
- [32] EUROCONTROL, “Manual for National ATM Security Oversight”, 2012.
- [33] NAV Portugal, “Procedimentos de Segurança/Security v1.” 2018.
- [34] “Radio Mobile - RF propagation simulation software - ITM model propagation.” [Online]. Available: [http://radiomobile.pelmev.nl/?Calculations:ITM\\_model\\_propagation\\_settings](http://radiomobile.pelmev.nl/?Calculations:ITM_model_propagation_settings). [Accessed: 16-Jun-2019].
- [35] G. Hufford, G. Longley, and W. Kissick, “A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode.”
- [36] ICAO, “Annex 10 - Aeronautical Telecommunications, Vol.III - Communication Systems.” 2007.
- [37] “VOTER (EUROCONTROL VoIP in ATM Test Suite) - Spirent.” [Online]. Available: <https://www.spirent.com/products/ttworkbench/ttsuites/eurocontrol-voter>. [Accessed: 22-May-2019].
- [38] “TRANS OCEAN AIRCRAFT FREQUENCIES - World Wide HF and VHF/UHF Aircraft Communications Listening.” [Online]. Available: <http://www.hamuniverse.com/aerofreq.html>. [Accessed: 22-Feb-2019].

- [39] “What is High Frequency (HF)? - Definition from Techopedia.” [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/7563/high-frequency-hf>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [40] “Wave propagation : Ground or surface wave, Sky wave, Space wave.” [Online]. Available: <https://hemantmore.org.in/foundation/science/physics/communication-channels-atmosphere/7835/>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [41] “SATCOM - SKYbrary Aviation Safety.” [Online]. Available: <https://www.skybrary.aero/index.php/SATCOM>. [Accessed: 25-Feb-2019].
- [42] “Primary and Secondary Radar.” [Online]. Available: <http://www.airwaymuseum.com/Surveillance.htm>. [Accessed: 12-Mar-2019].
- [43] T. E. Allen, “A new voice-communication system for air traffic control,” *Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part I Commun. Electron.*, 2012.
- [44] EUROCAE, “ED137B - Interoperability Standards for VoIP ATM Components Part 1 : Radio.” 2008.
- [45] Federal Communications Commission, “Guidelines for Determining the Effective Radiated Power (ERP) and Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP) of a RF Transmitting System,” 2015.
- [46] International Telecommunication Union, “Isolation between antennas of IMT base stations in the land mobile service,” 2011.
- [47] “Radio Signal Path Loss | Electronics Notes.” [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/propagation-overview/radio-signal-path-loss.php>. [Accessed: 26-Feb-2019].
- [48] ICAO, “DOC 10037 - Global Operation Data Link (GOLD) Manual.” 2017.
- [49] ICAO, “DOC 4444 - Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management.” 2016.
- [50] ICAO, “DOC 9804 - Manual on Air Traffic Services (ATS) - Ground Voice Switching and Signalling.” 2002.
- [51] ICAO, “DOC 9426 - Air Traffic Services Planning Manual.” 2007.
- [52] ICAO, “DOC 9896 - Manual on the Aeronautical Telecommunication Network (ATN) using Internet Protocol Suite (IPS) Standards and Protocol.” 2015.
- [53] ICAO, “DOC 9739 - Comprehensive Aeronautical Telecommunication Network (ATN) Manual.” 2001.
- [54] EUROCONTROL, “ESARR 3 - Use of Safety Management Systems by ATM Service Providers.” 2011.
- [55] EUROCONTROL, “ESARR 1 - Safety Oversight in ATM.” 2011.
- [56] NAV Portugal, “VHF Antenna Park – Pico Alto ( Santa Maria ) - Especificação de Sistema.” 2017.



# Apêndices



# Apêndice A - “Recursos utilizados na cobertura de vigilância”

## A.1 - SSR – *Secondary Surveillance Radar*

O SSR é uma alternativa ao radar tradicional *Primary Surveillance Radar* (PSR), o qual calcula a posição da aeronave através da recepção da reflexão de sinais previamente emitidos. O modo de funcionamento do SSR baseia-se numa tecnologia alternativa, onde são emitidos sinais de interrogação para a aeronave (que por sua vez está equipada com um *transponder*) aos quais a aeronave responde com dados relativos à sua posição [42].

A Figura B.1 mostra o equipamento SSR utilizado pela NAV para efetuar a vigilância na FIR de Santa Maria. Este equipamento localiza-se na Ilha de Santa Maria, mais concretamente no Pico Alto. Além deste equipamento, encontra-se implementado outro semelhante na Ilha do Porto Santo.



Figura B.1 - Sistema SSR do Pico Alto (Santa Maria)

## A.2 - MultiLateration

O conceito de MultiLateration, também conhecido por triangulação, define-se como o processo para localizar um objeto, neste caso uma aeronave, através de computação precisa. Um sinal é transmitido pelo *transponder* da aeronave e recebido por vários recetores terrestres (pelo menos três). Estes recetores, através de sensores, medem a diferença de tempo da chegada do sinal desde a sua emissão (*Time Difference of Arrival* - TDOA) e, através de um processador central, é calculada a posição da aeronave.

### A.3 - ADS – *Automatic Dependent Surveillance*

Ao contrário das técnicas anteriores que utilizam mecanismos de descoberta da posição das aeronaves, num sistema de ADS é a aeronave que reporta a sua identificação e posição. O cálculo da posição da aeronave é efetuado na própria aeronave através de dados obtidos por *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Através destes dados, as aeronaves calculam as suas posições e difundem-nas de forma omnidirecional, sendo estas recebidas por estações ADS terrestres.

A tecnologia ADS pode ser implementada com base em dois modelos: ADS-B e ADS-C. No modelo ADS-B, onde “B” refere-se *broadcast*, as informações da posição das aeronaves são interrogadas por estações terrestres partindo do pressuposto de que a aeronave tem o *transponder* ligado. No que diz respeito ao ADS-C (*ADS-Contract*), a informação é difundida automaticamente através de três contratos distintos:

- *Periodic Contract*: reporte de posição em intervalos de dez minutos onde consta a posição atual da aeronave, o *waypoint* ativo (ponto GNSS para o qual a aeronave se dirige), ponto seguinte, altitude, velocidade e rumo.
- *Event Contract*: estabelecido cada vez que a aeronave muda de altitude e reporta sempre que a aeronave tem uma alteração de  $\pm 200$  pés.
- *On Demand Request*: a pedido do CTA, a qualquer altura a aeronave transmite um reporte ADS ao estilo de *Periodic Contract*.

## Apêndice B – “Meios alternativos de comunicações A/G”

### B.1 - Comunicações rádio via HF

As comunicações por *High Frequency* (HF) têm o propósito de estabelecer o contato com as aeronaves que se encontram em zonas não abrangidas por VHF. As frequências HF referem-se à gama de ondas eletromagnéticas de frequências rádio compreendidas entre os 3 e os 30 MHz, encontrando-se exatamente abaixo das VHF no espectro das frequências rádio.

As ondas HF são utilizadas na navegação aérea de modo a contornar as dificuldades relativas ao alcance reduzido das VHF. Ao contrário destas, para o caso das altas frequências (HF), não é necessário que o emissor e recetor se encontrem em linha de vista, pelo que estas possuem um alcance muito superior às VHF [38]. Em contrapartida, ao contrário das VHF, na comunicação por HF constam elevados níveis de ruído, o que dificulta a comunicação com as aeronaves.

A grande vantagem desta gama de frequências é que estas ondas rádio têm a capacidade de reflexão quer na camada ionosfera da atmosfera quer na própria superfície terrestre [39]. Este método de propagação (conhecido *Sky-wave*) permite o estabelecimento de comunicações a longas distâncias [40]. Assim sendo, as comunicações A/G podem ser asseguradas pelas altas frequências (HF) nos casos em que a cobertura VHF não é garantida (e.g. áreas oceânicas ou polares)

Por outro lado, podem existir circunstâncias em que as comunicações em HF apresentem algumas dificuldades de propagação nomeadamente perdas de intensidade devido a alguma refração das ondas tanto na atmosfera como no solo e interferências com outros serviços rádio externo.

A Figura A.1 demonstra este conceito, onde a comunicação A/G é possível através de das ondas HF.

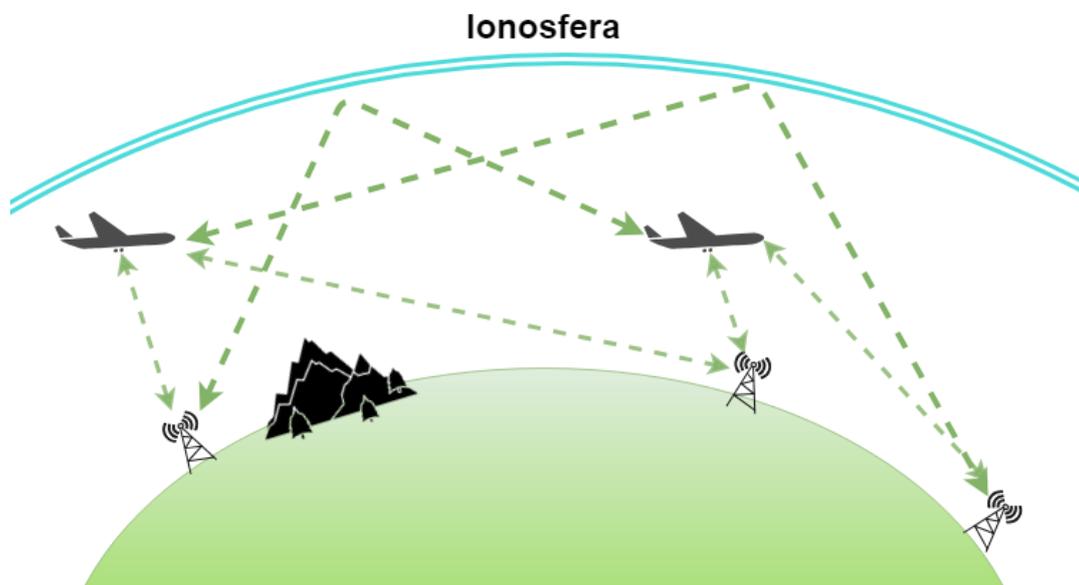


Figura A.1 - Método de propagação Sky-wave para HF

## B.2 - Comunicações via satélite

Os meios de comunicação por satélite (SatCOM) estão presentes nas comunicações aeronáuticas e revelam um forte potencial para comunicações a longas distâncias [41], sendo uma alternativa ao uso de HF. Os sistemas de comunicação SatCOM, além do transporte de voz, permitem também a comunicação por dados. Para tal, como mostra a Figura A.2, é utilizado um satélite como meio de ligação entre uma aeronave e uma estação de satélite terrestre.

No caso das comunicações por voz, é utilizado o serviço SatVoice, o qual permite estabelecer chamadas entre o CTA e a aeronave. Para a transmissão de dados, é utilizado o serviço *Controller Pilot Data Link Communications* (CPDLC), onde são trocadas mensagens de texto entre o CTA e o piloto, podendo estas já estarem pré-definidas ou não. Este método é utilizado para a transmissão de informação para a aeronave e promove uma comunicação mais eficaz visto estar livre de ruídos e interferências, ao contrário das comunicações HF. Em contrapartida, as comunicações por satélite, dadas as longas distâncias, podem introduzir alguns atrasos no transporte de informação.

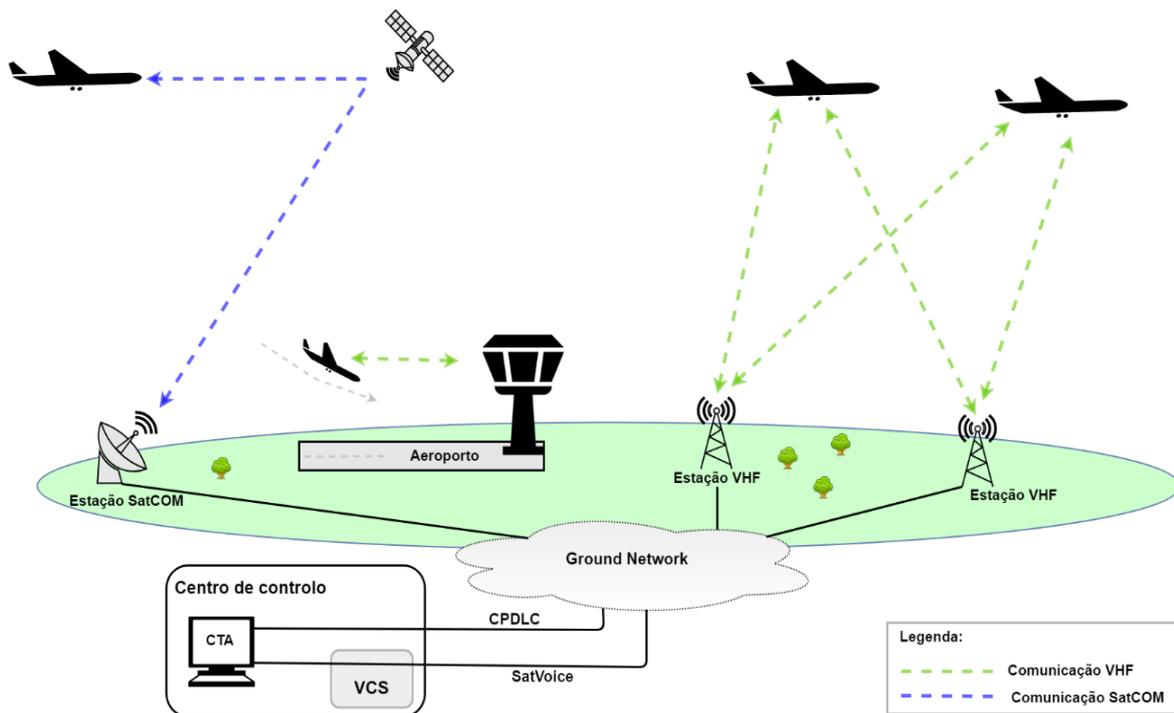


Figura A.2 - Comunicações A/G via satélite

A Figura A.2 ilustra um cenário onde, além de comunicações tradicionais VHF, são também estabelecidas comunicações via satélite com uma aeronave.

# Apêndice C – “Funcionalidades das comunicações VHF”

## C.1 - BSS – *Best Signal Selection*

A emissão proveniente de uma aeronave pode ser recebida por mais do que um recetor em terra. Evidentemente, e como à partida a distância da aeronave entre os diferentes recetores é diferente, cada recetor recebe o sinal da aeronave com intensidades diferentes.

À medida que a aeronave se desloca no espaço aéreo, a fim de obter uma boa recepção, o CTA teria de alternar entre os diferentes recetores a fim de identificar aquele que lhe disponibiliza uma melhor recepção de sinal para cada instante ou escutar vários recetores simultaneamente. Além do aumento de tarefas a serem executadas pelo controlador, surgem problemas de eco e de desvanecimento do sinal devido à escuta simultânea de vários recetores [43].

A solução passa por automatizar o processo de escolha do sinal que será escutado em cada instante, sem envolver o CTA [43]. Como tal, é utilizado o método BSS que visa apresentar ao CTA apenas o sinal com melhor intensidade, em vez de uma mistura de sinais [16]. Este processo consiste na obtenção de informações da intensidade de sinal provenientes dos diversos recetores para que o VCS possa interpretar qual o melhor sinal para enviar para o controlador [43].

O BSS é uma ferramenta que, por norma, se encontra constantemente ativa nas ligações descendentes, ou seja, provenientes da aeronave.

A Figura C.1 ilustra simplificada o conceito da ferramenta de *Best Signal Selection*. No caso demonstrado, existem três estações VHF disponíveis para comunicar com a aeronave, quer seja por ligações ascendentes quer seja por ligações descendentes. Visto que a estação Tx/Rx\_2 se encontra a um menor alcance da aeronave, a sua ligação (*link 2*) possuirá um maior índice de qualidade em comparação com os restantes. Desta forma, a ferramenta BSS escolherá a estação Tx/Rx\_2 para estabelecer a conexão com a aeronave.

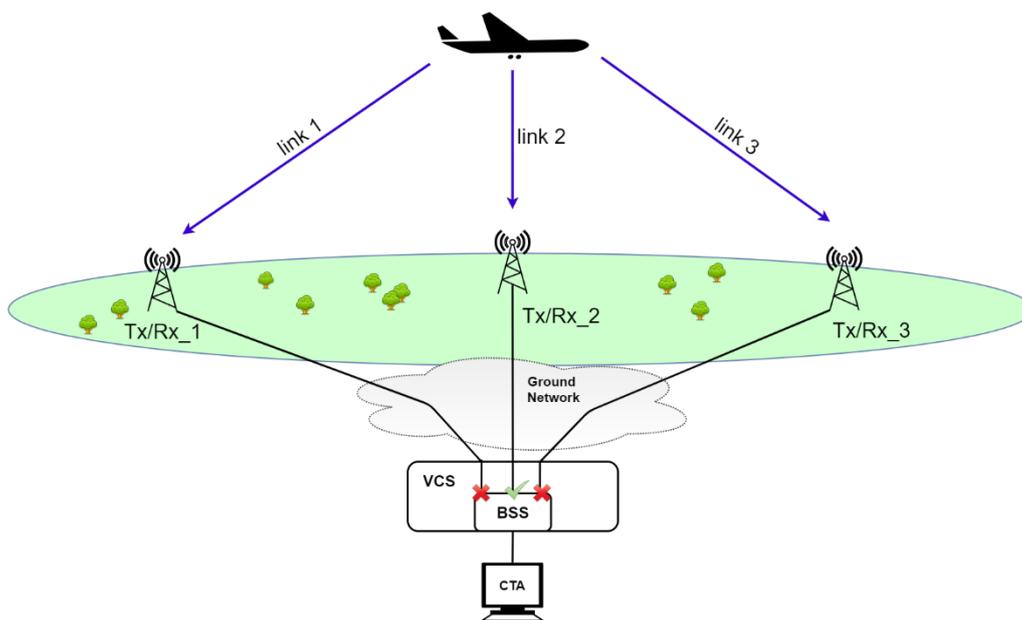


Figura C.1 - Exemplo do funcionamento do Best-Signal-Selection

## C.2 - Climax – *Offset-carrier Operation*

Uma vez que as ondas VHF operam maioritariamente em linha de vista, em alguns sectores de controlo torna-se difícil manter uma cobertura VHF devido a constrangimentos relativos à topografia do meio. Este inconveniente pode ser contornado através da utilização simultânea de várias estações base independentes a operar à mesma frequência. Este processo tem como principais objetivos [44]:

- Reduzir a influência do relevo do terreno nas comunicações, especialmente a níveis de voo reduzidos;
- Estender o alcance da cobertura VHF;
- Promover a redundância através de comunicações de *backup*;
- Lidar com situações de indisponibilidades ou falha de estações terrestres.

Em contrapartida a estes benefícios, a aeronave irá receber o mesmo sinal proveniente de diversas estações terrestres distintas, o que provocará eco nas comunicações.

De forma a contornar esta situação, na utilização do método Climax, no caso das ligações *ground-to-air*, as frequências portadoras emitidas pelas diferentes estações são deslocadas do seu valor nominal. Este deslocamento é conhecido como *offset* e é aplicado em intervalos numa determinada ordem de grandeza como por exemplo 2.5 kHz. Para as receções A/G, o sinal é transmitido por parte da aeronave sem *offset* e recebido por diversas estações terrestres em simultâneo. Posteriormente, e através da ferramenta BSS, é selecionada a ligação que possui um melhor índice de qualidade, a qual é apresentada ao CTA como é demonstrado na Figura C.2.

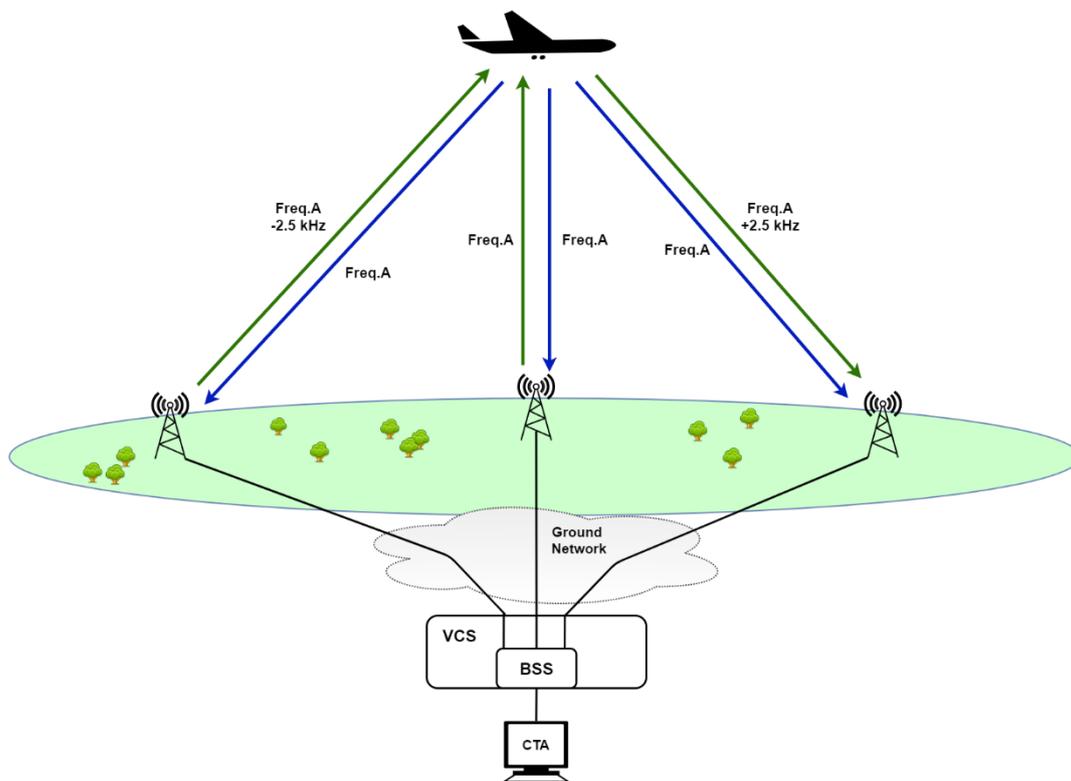


Figura C.2 - Método Climax

### C.3 - Emissão Seletiva

De acordo com [16], a utilização do método de Emissão Seletiva (Figura C.3) consiste numa alternativa ao Climax. A diferença deste método em relação ao Climax, é que os rádios operam todos sem *offset* na frequência do canal nominal atribuído.

Apenas um transmissor terrestre é utilizado para as emissões ascendentes pelo que a seleção deste transmissor é maioritariamente feita pelo VCS. Em alguns casos, este método não é transparente para os CTA's visto que, por vezes, é necessário estes intervirem manualmente. A Emissão Seletiva não permite a execução de múltiplas ligações ascendentes sobrepostas, pelo que o equipamento recetor da aeronave apenas recebe um sinal.

Do ponto de vista das ligações descendentes, estas funcionam da mesma forma como no método Climax, ou seja, todos os recetores terrestres de um dado setor captam a mesma emissão proveniente da aeronave. Desta forma, e tal como no Climax, é utilizado o BSS a fim de selecionar o melhor sinal de voz recebido em terra e apresentar ao CTA apenas um sinal.

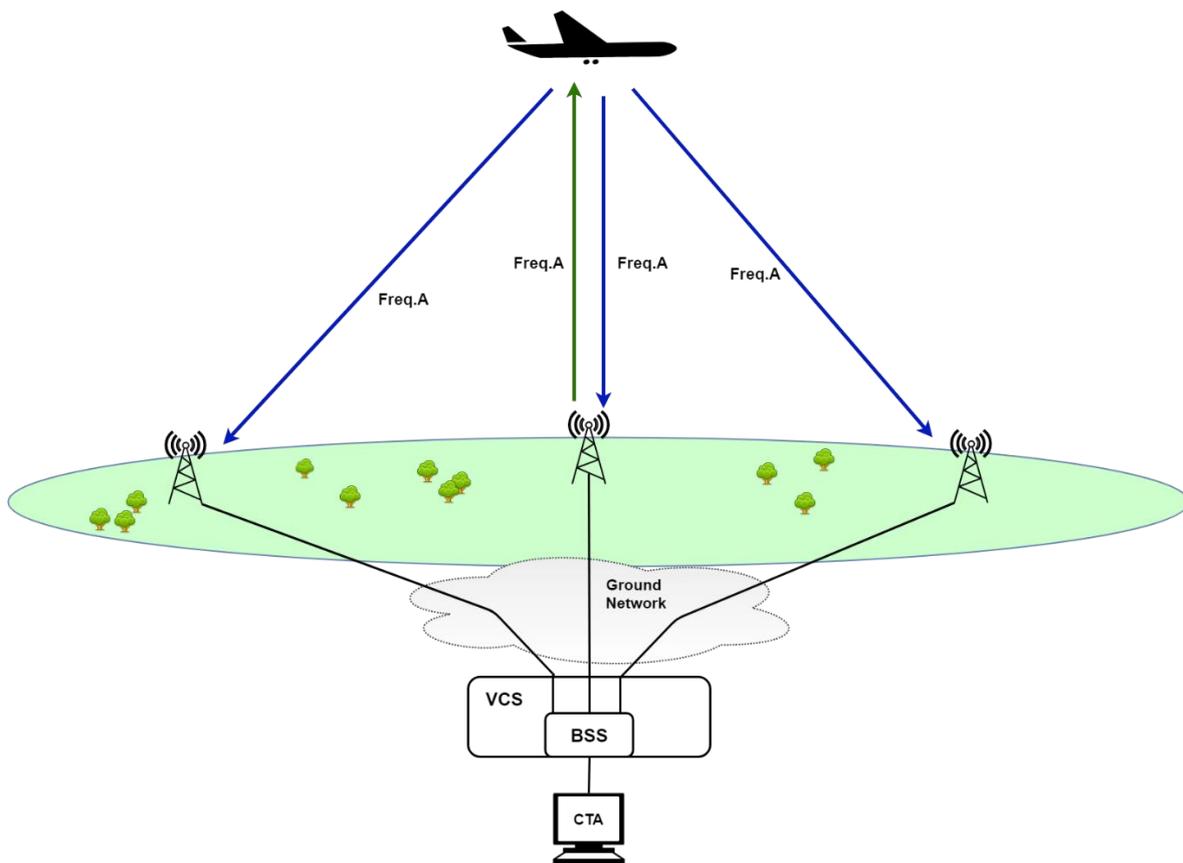


Figura C.3 - Método da Emissão Seletiva

## C.4 - Método Combinado

O Método Combinado resulta da combinação das funcionalidades anteriormente descritas: Climax e Emissão Seletiva. Em casos de utilização do Método Combinado, um transmissor terrestre “*main*” é sintonizado com o *offset* positivo enquanto os restantes com *offset* negativo. No caso em que é efetuada uma ligação ascendente (*ground-to-air*), o transmissor “*main*” opera em conjunto com um dos transmissores secundários (o qual é selecionado pelo VCS). Numa comunicação descendente, os demais recetores podem ser utilizados em combinação com o mecanismo BSS. Consoante a situação, um CTA pode sempre seleccionar manualmente apenas um único transmissor que pretenda utilizar, consoante a situação.

## C.5 - Coupling

Em períodos em que o tráfego aéreo é menor, por razões de eficiência, CTA pode ficar responsável pelo tráfego em mais do que um setor. Com tal, através do VCS, é feita a retransmissão das diversas frequências VHF que estão a ser utilizadas, sendo estas transmitidas e ouvidas por todos os pilotos das aeronaves num determinado espaço aéreo [16].

Por outras palavras, seguindo o exemplo da Figura C.4, um controlador pode emitir o mesmo sinal de voz em duas ou mais frequências distintas (frequência **A** e **B**) para contactar as aeronaves. Considerando que a aeronave **X** utiliza a frequência **A** e que a aeronave **Y** utiliza a **B**, a resposta de ambas será efetuada nas suas respetivas frequências. No entanto, através do método *Coupling*, a resposta da aeronave **X** (na frequência **A**) é retransmitida pelo VCS para a aeronave **B** na frequência **Y**.

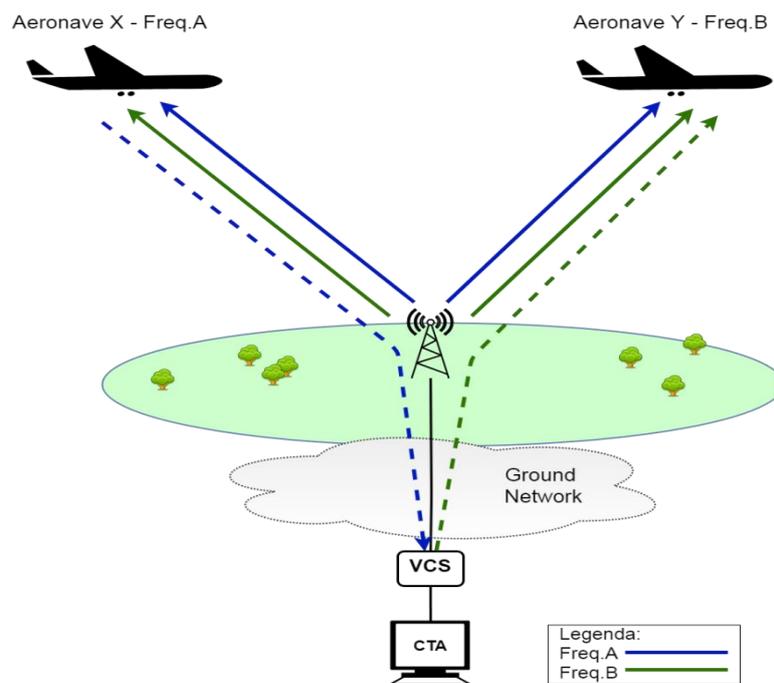


Figura C.4 - Método Coupling

## Apêndice D – “Considerações prévias à implementação de um parque de antenas”

### D.1 - Localização e condições topográficas

A localização e a topografia do terreno são os primeiros elementos a ter a consideração num estudo de cobertura VHF visto que este tipo de ondas apresenta não só dificuldade em atravessar objetos, mas como também em propagarem-se muito além da linha do horizonte. Desta forma, deve ser cuidadosamente definida uma localização privilegiada aquando a implementação de uma estação VHF.

A Figura D.1 visa esclarecer de forma genérica os cenários em que uma comunicação A/G via VHF é praticável (a verde) e as situações em que se apresentam algumas dificuldades no seu estabelecimento (vermelho).

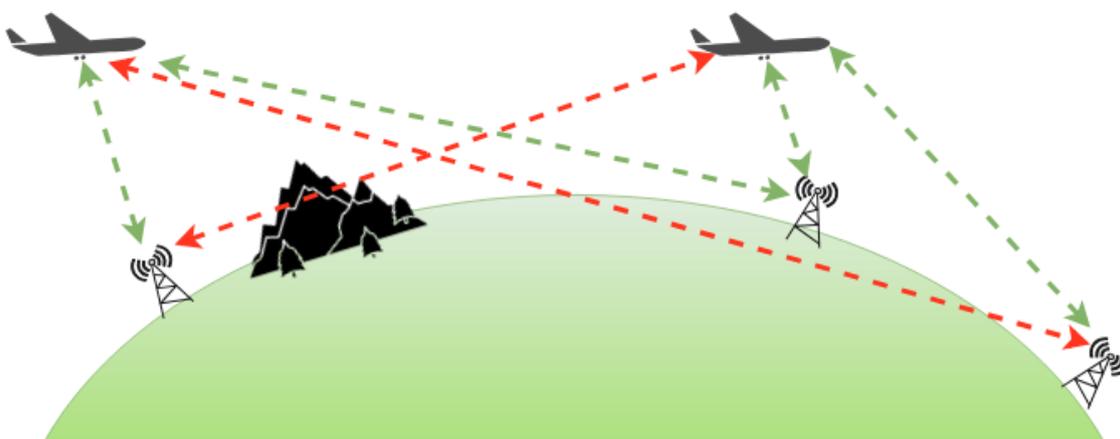


Figura D.1 - Linha de vista nas comunicações A/G por VHF

Desta forma, é importante que as antenas sejam localizadas em zonas de elevada altitude de forma a proporcionar linha de vista em seu redor e minimizar as zonas de sombra. No caso de serem utilizadas antenas direcionais, a ideia é semelhante, no entanto esta preocupação deve ser tida em consideração na direção de propagação desejada. A Figura D.2 exemplifica o conceito de zona de sombra na cobertura VHF.

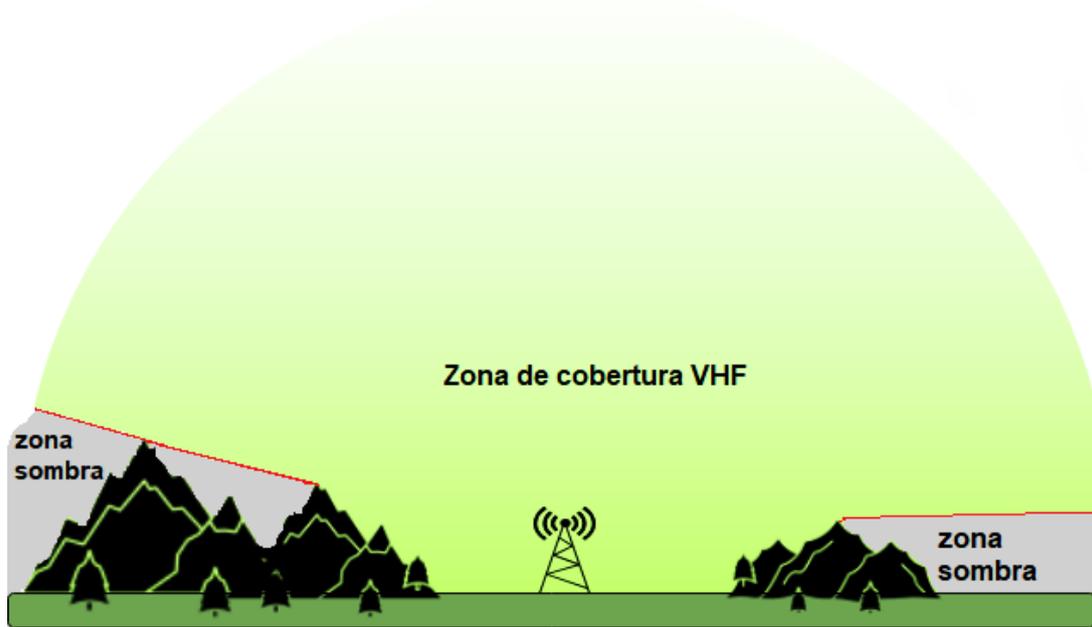


Figura D.2 - Conceito de zonas sombra na cobertura VHF

A implementação de uma estação VHF numa zona de elevada altitude contribui também para o aumento do alcance desta estação em termos de linha de vista no horizonte. Quanto mais alta estiver a estação, mais distante será a linha de horizonte do ponto de vista desta estação.

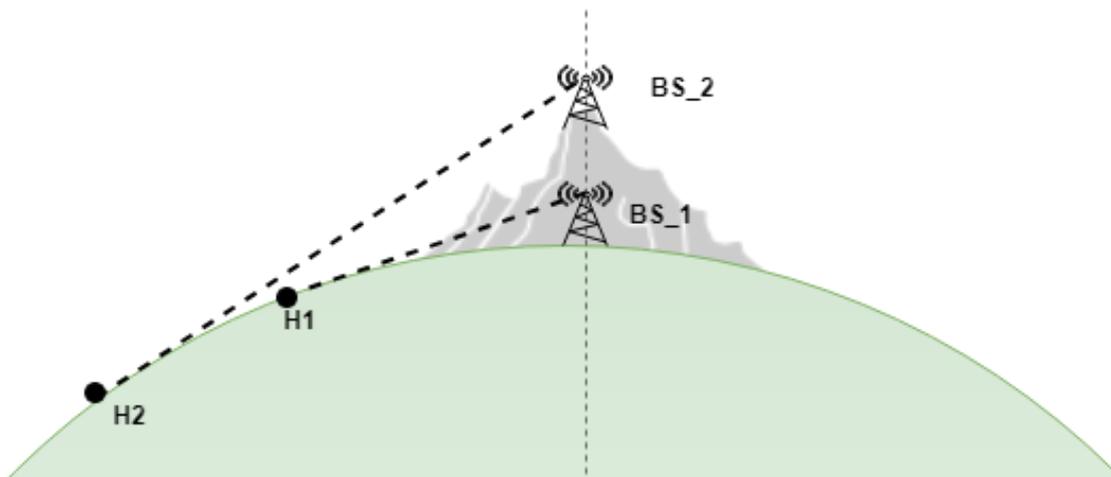


Figura D.3 - Relação entre a altura e o alcance de uma estação VHF

Ao observar a Figura D.3 conclui-se que, para duas estações base VHF (**BS\_1** e **BS\_2**), existem dois pontos distintos (**H1** e **H2**) que representam a linha do horizonte do ponto de vista de cada uma. Logicamente, a estação a uma maior altitude (**BS\_2**) encontra a linha do horizonte (**H2**) a uma maior distância, tendo, portanto, um maior alcance.

## D.2 – Fatores a nível de implementação

### ERP/ EIRP – *Effective (Isotropic) Radiated Power*

Nos sistemas de transmissão eletromagnéticos, em particular aqueles referentes a telecomunicações, está presente o conceito de ERP e EIRP, os quais dizem respeito à energia que é efetivamente radiada por uma antena. A diferença entre ambos é que no ERP, o ganho da antena é expresso em relação a uma antena dipolo de meia-onda, enquanto no EIRP, o ganho é expresso em relação a uma antena isotrópica ideal (teórica) [45].

O ERP e o EIRP são determinados pela potência emitida com a adição do ganho do sistema e com a subtração do somatório das perdas do sistema, como é expresso em (F. 1). Deste modo, devem ser considerados os elementos de ganho bem como todos os elementos que possam introduzir perdas no sistema, tais como cabos, conectores, filtros e outros equipamentos [45].

$$ERP \text{ (ou EIRP)} [W] = P_t + G_t - L \quad (\text{F. 1})$$

Onde:

- $P_t$  = Potência de transmissão [dBW];
- $G_t$  = ganho da antena [dBd] (para ERP) ou [dBi] (para EIRP);
- $L$  = somatório das perdas do sistema [dB].

Desta forma, aquando a escolha dos equipamentos a utilizar no parque de antenas (como as próprias antenas, cabos e conectores) devem ser tidos cuidados relativamente aos ganhos e as perdas que estes poderão introduzir no sistema e conseqüentemente interferir com o ERP.

### Isolamento entre antenas

A análise de interferências entre canais é um dos principais tópicos de foco num estudo de radiofrequências. As interferências entre canais podem ser originadas devido a diversos fatores, tais como:

- Número de canais ativos;
- Colocação e disposição das antenas;
- Faixas de frequências utilizadas;
- Equipamento rádio utilizado.

A técnica para mitigar as interferências entre canais consiste numa separação adequada entre as diversas antenas. Estas separações podem ser efetuadas tanto horizontalmente como de forma vertical.

Segundo as recomendações do *International Telecommunication Union – Radio Communication Sector* (ITU-R) [46], o aspeto principal para definir a distância de separação

entre as antenas é o isolamento entre as mesmas. Quanto maior for o isolamento entre as antenas, menores serão as interferências. O isolamento mínimo recomendado entre antenas é de aproximadamente 30 dB e, em casos práticos, pode ser estimado através da fórmula de Friis (F. 2):

$$Isolation [dB] = 22 + 20 * \log\left(\frac{r}{\lambda}\right) - G_t - G_r \quad (F. 2)$$

$$\text{em que } \lambda = \frac{c}{f} \quad (F. 3)$$

Onde:

- $r$  = Distância entre antenas [m];
- $\lambda$  = Comprimento de onda [m];
- $G_t$  = Ganho da antena emissora [dBd];
- $G_r$  = Ganho da antena recetora [dBd].
- $c$  = Velocidade da luz no vácuo (aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s);
- $f$  = Frequência [Hz];

Para um valor de frequência médio (127 MHz) do espectro de frequências em estudo, a distância recomendada para promover um isolamento apropriado entre antenas é de aproximadamente 12 metros. Esta distância pode ser conseguida através de uma separação entre antenas horizontal e vertical.

Caso a área disponível para o parque de antenas não permite um isolamento apropriado entre todas as antenas, devem ser priorizadas as antenas respetivas às frequências mais utilizadas (como o caso da frequência primária – 132.15 MHz).

### ***Path Loss* – Atenuação em espaço livre**

O conceito de *Path Loss* está relacionado com a atenuação da potência de uma onda eletromagnética à medida que esta se propaga no espaço entre um transmissor e um recetor. No geral, o efeito de *Path Loss* é influenciado por diversos fatores, de entre os quais: atenuação em espaço livre, perdas por difração, perdas por absorção, entre outros, dependendo do cenário [47].

No entanto, no panorama deste projeto, o fator que influencia o *Path Loss* é a atenuação em espaço livre [16], cujo cálculo é efetuado através de (F. 4):

$$Path Loss [dB] = 32.5 + 20 * \log(d) + 20 * \log(f) \quad (F. 4)$$

Onde:

- $d$  = Distância [m];
- $f$  = Frequência [Hz].

# Apêndice E – “Requisitos da infraestrutura de telecomunicações”

## E.1 - Requisitos de Serviços

Requisito: **SRV-1**

Título: *Quantidade de serviços de voz suportados.*

Descrição: Para cada *site*, a rede deve suportar os serviços de voz conforme a Tabela 7 e a Tabela 8, e garantir a capacidade de crescimento de 30% no número de circuitos.

Requisito: **SRV-2**

Título: *Quantidade de serviços de dados série suportados.*

Descrição: Para cada *site*, a rede deve suportar os serviços de dados série conforme a Tabela 7 e a Tabela 8, e garantir a capacidade de crescimento de 30% no número de circuitos.

Requisito: **SRV-3**

Título: *Quantidade de serviços e largura de banda de dados IP suportados.*

Descrição: Para cada *site*, a rede deve suportar os serviços de dados IP conforme a Tabela 7 e a Tabela 8, e garantir a capacidade de crescimento de 30% no número de circuitos e crescimento de 200% em termos de largura de banda.

Requisito: **SRV-4**

Título: *Migração de suporte de serviços de voz e dados série.*

Descrição: Para cada *site*, a rede deve suportar a migração de serviços de voz e dados série para protocolos baseados em IP, mantendo a capacidade de crescimento especificada.

## E.2 - Requisitos de Interfaces

Requisito: **INT-1**

Título: *Interfaces analógicas de voz.*

Descrição: A rede deve fornecer interfaces de voz analógicas com possibilidade de configuração de circuitos de 2 e 4 fios, em modo *Hot-line* ou sinalização E&M tipo V, contínua ou por pulsos.

Requisito: **INT-2**

Título: *Interfaces de dados série.*

Descrição: A rede deve fornecer interfaces de dados série no *standard* V24, com configuração síncrona e assíncrona.

Requisito: **INT-3**

Título: *Interfaces de dados IP.*

Descrição: A rede deve fornecer interfaces de dados no protocolo IP, com interface *ethernet* e roteamento *unicast* e *multicast*.

Requisito: **INT-4**

Título: *Número de interfaces.*

Descrição: Para cada *site*, a rede deve fornecer o número de interfaces suficiente para garantir a continuidade dos serviços atuais, conforme a Tabela 7 e a Tabela 8 e suportar um crescimento de 30% no número de interfaces de cada tipo.

### E.3 - Características da rede

Requisito: **NET-1**

Título: *Rede do fornecedor de serviços de telecomunicações.*

Descrição: O fornecedor de serviços de telecomunicações deve dar acesso a uma infraestrutura exclusivamente terrestre (*landbased*), usando o protocolo MPLS e BGP (V4), garantindo o *core routing* e garantir redundâncias de caminhos sob a sua gestão.

Requisito: **NET-2**

Título: *Gestão de falhas na rede do fornecedor de serviços de telecomunicações.*

Descrição: O fornecedor de serviços de telecomunicações deve garantir um *downtime* da rede inferior a 1 minuto em caso de falha detetada e resolvida pelas redundâncias do seu sistema.

Requisito: **NET-3**

Título: *Disponibilidade na rede do fornecedor de serviços de telecomunicações.*

Descrição: O fornecedor de serviços de telecomunicações deve garantir uma disponibilidade de 99.98% da rede de telecomunicações.

Requisito: **NET-4**

Título: *Acesso à rede do fornecedor de serviços de telecomunicações.*

Descrição: O acesso à rede MPLS do fornecedor de serviços de telecomunicações deve ser feito com redundância garantida por diversidade de caminhos e estações, bem como qualquer equipamento *Provider Edge*.

Requisito: **NET-5**

Título: *Endereços e roteamento IP da rede.*

Descrição: A rede deve utilizar IPV6, seguir a política de IPs da DOPATL, e implementar roteamento IPV6 estático, e permitindo a utilização futura de OSPF.

Requisito: **NET-6**

Título: *Tipo de ligações entre sites da rede.*

Descrição: A ligação entre *sites* na rede deve-se realizar através de mecanismos de VPN ponto-a-ponto, com encriptação de dados.

## Apêndice E – “Requisitos da infraestrutura de telecomunicações”

---

Requisito: **NET-7**

Título: *Variedade de ligações entre sites na rede.*

Descrição: Entre dois *sites* na rede devem poder definir-se várias VPN para suporte de diferentes serviços.

Requisito: **NET-8**

Título: *Características de cada ligação entre sites na rede.*

Descrição: Cada ligação entre dois *sites* na rede deve permitir definir um limite de largura de banda e classificação QoS do tráfego da VPN.

Requisito: **NET-9**

Título: *Existência de serviços de telecomunicações de contingência.*

Descrição: Devem existir ligações de contingência entre os *sites* para o caso de falha total da rede do fornecedor de serviços de telecomunicações principal.

Requisito: **NET-10**

Título: *Independência dos serviços de telecomunicações de contingência.*

Descrição: As ligações de contingência entre os *sites* devem ser totalmente independentes de quaisquer recursos utilizados pelo fornecedor de serviços de telecomunicações principal.

Requisito: **NET-11**

Título: *Características dos serviços de telecomunicações de contingência.*

Descrição: As ligações de contingência entre os *sites* devem ser preferencialmente terrestres, seguindo-se a utilização de sistemas satélite LEO *Low Earth Orbit* (LEO) e, por último, sistemas de satélite geostacionário.

Requisito: **NET-12**

Título: *Interrupção de serviço por passagem para o sistema de telecomunicações de contingência.*

Descrição: Para cada *site* o estabelecimento de ligações de contingência devem prever uma interrupção de serviço inferior a 1 minuto após deteção falha total da rede do fornecedor de serviços de telecomunicações principal.

Requisito: **NET-13**

Título: *Serviços mínimos de telecomunicações em modo de contingência de uma unidade de controlo de aproximação e aeroporto.*

Descrição: As ligações de contingência de uma unidade de controlo de aproximação e aeroporto devem permitir no mínimo ligação ao centro de controlo através de uma linha de voz direta, uma linha SAR (*Search and Rescue*), uma linha de rádio, uma linha de dados AFTN/AMHS (*Aeronautical Fixed Telecommunication Network / Aeronautical Message Handling Service*) e um fluxo de dados de vigilância.

Requisito: **NET-14**

Título: *Serviços mínimos de telecomunicações em modo de contingência de um centro de controlo.*

Descrição: As ligações de contingência de um centro de controlo devem permitir no mínimo a operação de uma linha de voz por cada centro adjacente, uma ligação de dados à central AFTN/AMHS, uma linha SAR, e por cada unidade de aproximação a um aeroporto uma linha de voz, uma linha de rádio, uma linha de dados AFTN/AMHS e um fluxo de dados de vigilância.

### **E.4 - Arquitetura dos Sites**

Requisito: **ARQ-1**

Título: *Pontos de falha nos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve assegurar alta disponibilidade de serviço pela existência de redundâncias de equipamentos, sem ponto único de falha.

Requisito: **ARQ-2**

Título: *Deteção de falhas nos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve ser capaz de automaticamente detetar falhas nos equipamentos.

Requisito: **ARQ-3**

Título: *Contenção de falhas nos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve assegurar a continuidade de serviço em caso de falha, numa filosofia *hot-standby* para gestão de redundâncias.

Requisito: **ARQ-4**

Título: *Interrupção de serviço por falhas nos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site* os mecanismos de continuidade de serviço devem prever uma interrupção de serviço inferior a 1 minuto após deteção de falha num equipamento.

Requisito: **ARQ-5**

Título: *Pontos de falha nas ligações entre equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve assegurar alta disponibilidade de serviço pela existência de redundâncias de ligações entre equipamentos, para evitar pontos únicos de falha.

Requisito: **ARQ-6**

Título: *Deteção de falhas nas ligações entre equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve ser capaz de automaticamente detetar falhas de ligações entre equipamentos.

Requisito: **ARQ-7**

Título: *Contenção de falhas nas ligações entre equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, o sistema deve assegurar a continuidade de serviço no caso de falhas de ligações entre equipamentos, numa filosofia *hot-standby* para gestão de redundâncias.

Requisito: **ARQ-8**

Título: *Interrupção de serviço por falhas nas ligações entre equipamentos.*

Descrição: Em cada *site* os mecanismos de continuidade de serviço devem prever uma interrupção de serviço inferior a 1 minuto após deteção de falha de ligações entre equipamentos.

Requisito: **ARQ-9**

Título: *Comutação nas ligações entre interfaces externas.*

Descrição: Em cada *site*, em caso de falha de equipamento ou ligação, as interfaces externas do tipo ponto-a-ponto devem prever um mecanismo de comutação automática entre os equipamentos redundantes do sistema.

### E.5 - Requisitos de SMC

Requisito: **SMC-1**

Título: *Rede e terminal de SMC.*

Descrição: Para cada *site*, o sistema deve incluir uma rede independente com um terminal de supervisão, monitorização e controlo.

Requisito: **SMC-2**

Título: *Supervisão de estados no terminal de SMC.*

Descrição: O terminal de supervisão, monitorização e controlo da rede deve facultar uma visualização dos estados de todos os equipamentos e circuitos do *site*, que espelhe os sistemas automáticos de comutação.

Requisito: **SMC-3**

Título: *Alarmes e alertas no terminal de SMC.*

Descrição: O terminal de supervisão, monitorização e controlo da rede deve facultar mensagens de alerta com alarme sonoro para as avarias e mudanças de estado de todos os equipamentos e circuitos do *site*.

Requisito: **SMC-4**

Título: *Monitorização da performance no terminal de SMC.*

Descrição: O terminal de supervisão, monitorização e controlo da rede deve permitir a monitorização de parâmetros de performance da operação de equipamentos e circuitos.

Requisito: **SMC-5**

Título: *Controlo do sistema no terminal de SMC.*

Descrição: O terminal de supervisão, monitorização e controlo da rede deve permitir a atuação os sistemas de comutação de estado e redundâncias de todos os equipamentos e circuitos do *site*.

### **E.6 - Requisitos de segurança**

Requisito: **SEG-1**

Título: *Diversidade espacial na localização dos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, os equipamentos redundantes do sistema devem ter diversidade espacial na sua localização para endereçar perigos ambientais.

Requisito: **SEG-2**

Título: *Diversidade de encaminhamento dos cabos.*

Descrição: Em cada *site*, as ligações de cabo redundantes devem ter diversidade de encaminhamento para endereçar perigos ambientais.

Requisito: **SEG-3**

Título: *Diversidade de circuitos de alimentação.*

Descrição: Em cada *site*, os equipamentos devem permitir a utilização paralela de dois circuitos de alimentação independentes.

Requisito: **SEG-4**

Título: *Identificação, autenticação e autorização de acesso aos equipamentos.*

Descrição: Em cada *site*, os equipamentos apenas devem permitir acesso de monitorização e controlo após processos de identificação, autenticação e autorização adequados.

Requisito: **SEG-5**

Título: *Serviço centralizado de gestão de identifições, autenticações e autorizações.*

Descrição: Em cada *site*, para efeitos de identificação, autenticação e autorização os equipamentos apenas devem ser capazes de aceder a um serviço externo, como por exemplo o RADIUS.

Requisito: **SEG-6**

Título: *Registos de logging.*

Descrição: Em cada *site*, os equipamentos apenas devem ter um registo de *log* interno.

Requisito: **SEG-7**

Título: *Serviço centralizado de logging.*

Descrição: Em cada *site*, para efeitos de *logging*, os equipamentos devem poder utilizar um serviço externo, como por exemplo o SYSLOG.

Requisito: **SEG-8**

Título: *Serviço centralizado de supervisão, monitorização e controlo.*

Descrição: Em cada *site*, para efeitos de supervisão, monitorização e controlo, os equipamentos devem permitir um acesso externo com protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) e reportar *traps* para um NMS (*Network Management System*).

Requisito: **SEG-9**

Título: *Deteção e contenção de ameaças externas e internas.*

Descrição: Em cada *site*, devem existir equipamentos e metodologias de deteção e contenção de ataques informáticos ou tentativas de intrusão, nas fronteiras externas e internas do sistema.

Requisito: **SEG-10**

Título: *Gestão de configurações.*

Descrição: Em cada *site*, deve existir um sistema de gestão das configurações operacionais cumprindo os requisitos de *traceability* de acordo com as especificações, segundo a regulamentação aplicável.

Este levantamento de requisitos não contempla todas as especificações de qualidade de serviço dadas por *Service Level Agreement* (SLA) referentes à *Required Communication Performance* (RCP) e *Required Surveillance Performance* definidos em [48] e [49].



## Apêndice F - “Matriz de ligação dos requisitos com o ambiente regulatório”

Na Tabela 26 é possível encontrar a referência para cada um dos requisitos com o ambiente regulatório aplicável.

Tabela 26 - Matriz de ligação de requisitos com o ambiente regulatório.

Requisito	ICAO Doc 9804	ICAO Doc 4444	ICAO Doc 9426	ICAO Doc 9896	ICAO Doc 9739	EUROCAE ED-138 Part 1	EUROCAE ED-138 Part 2	EUROCAE ED-136	ESARR 3	ESARR 1	ICAO Annex 10 Vol III	NAV Portugal
SRV-1												X
SRV-2												X
SRV-3												X
SRV-4												X
INT-1												X
INT-2												X
INT-3												X
INT-4												X
NET-1							1.2.2					
NET-2												X
NET-3	2.1.6 j	8.3			4.5.2	2.3.3		4.5.2				
NET-4	2.1.6 a,i	8.3										
NET-5				2.3.1 2.3.3 2.3.4		2.2.1					3.4.3 3.6.3	
NET-6	2.1.6 b			2.3.6 2.5	8.3 4.4.5 4.4.6	2.3.4	7.2.1 7.3 7.4.1	8.3 4.4.5 4.4.6			3.4.4 3.4.10	
NET-7	2.4.6 h											
NET-8				2.3.6 2.5	8.3 4.4.5 4.4.6	2.3.4	7.2.1 7.3 7.4.1	8.3 4.4.5 4.4.6				
NET-9		8.3			4.5.2			4.5.2				
NET-10					4.5.2			4.5.2				
NET-11	2.2.5.3											
NET-12												X
NET-13		8.9	3.4.1									
NET-14		8.1	3.1.4									
ARQ-1	2.1.6 a,i						3.3.4					
ARQ-2												X
ARQ-3	2.8.2.3 a											
ARQ-4												X
ARQ-5	2.1.6 a,i											
ARQ-6												X
ARQ-7	2.8.2.3 a											
ARQ-8												X
ARQ-9												X
SMC-1	2.7.1.2											
SMC-2						2.4.1	7.5.1					
SMC-3	2.7.1.2					2.4.1						
SMC-4						2.4.3						
SMC-5												X
SEG-1	2.8.2.3 b											
SEG-2	2.8.2.4											
SEG-3	2.8.2.3 c											
SEG-4					8.1	2.5.2		8.1	5.2.7		3.9.1	
SEG-5					8.1	2.5.2		8.1	5.2.7		3.9.1	
SEG-6						2.4.3			5.2.7			
SEG-7						2.4.3			5.2.7			
SEG-8							8.2					
SEG-9							7.4.2 7.4.6					
SEG-10	2.7.1.3					2.4.2				7.6		

## **Apêndice F - “Matriz de ligação dos requisitos com o ambiente regulatório”**

---

Os documentos mencionados na presente tabela são identificados em [50], [49], [51], [52], [53], [22], [23], [17], [54], [55] e [36] pela mesma ordem que constam na tabela.

## Apêndice G – “Fluxograma de procedimentos SMC”

A Figura G.1 ilustra o fluxograma de procedimentos cíclicos de supervisão, monitorização e controlo da rede (SMC).

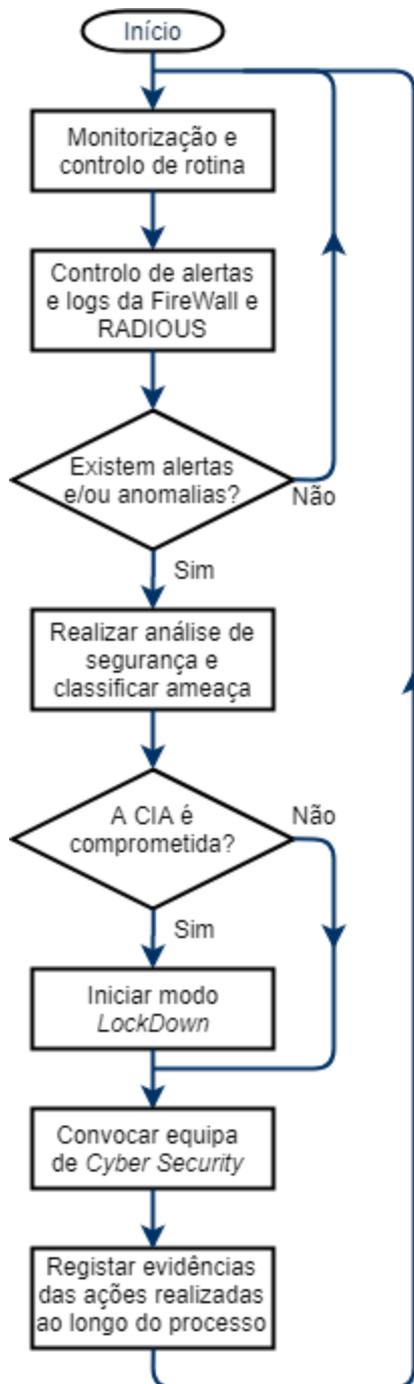


Figura G.1 - Fluxograma de procedimentos SMC



## Apêndice H – “Resultados obtidos nas simulações no Radio Mobile”

Neste apêndice constam com maior detalhe os resultados isolados obtidos nas simulações efetuadas no Radio Mobile tanto para o sistema inicial como para as soluções propostas. As diversas circunferências em torno de cada estação representam uma distância de 50 NM.

- **Estação do Pico Alto (Ilha de Santa Maria)**

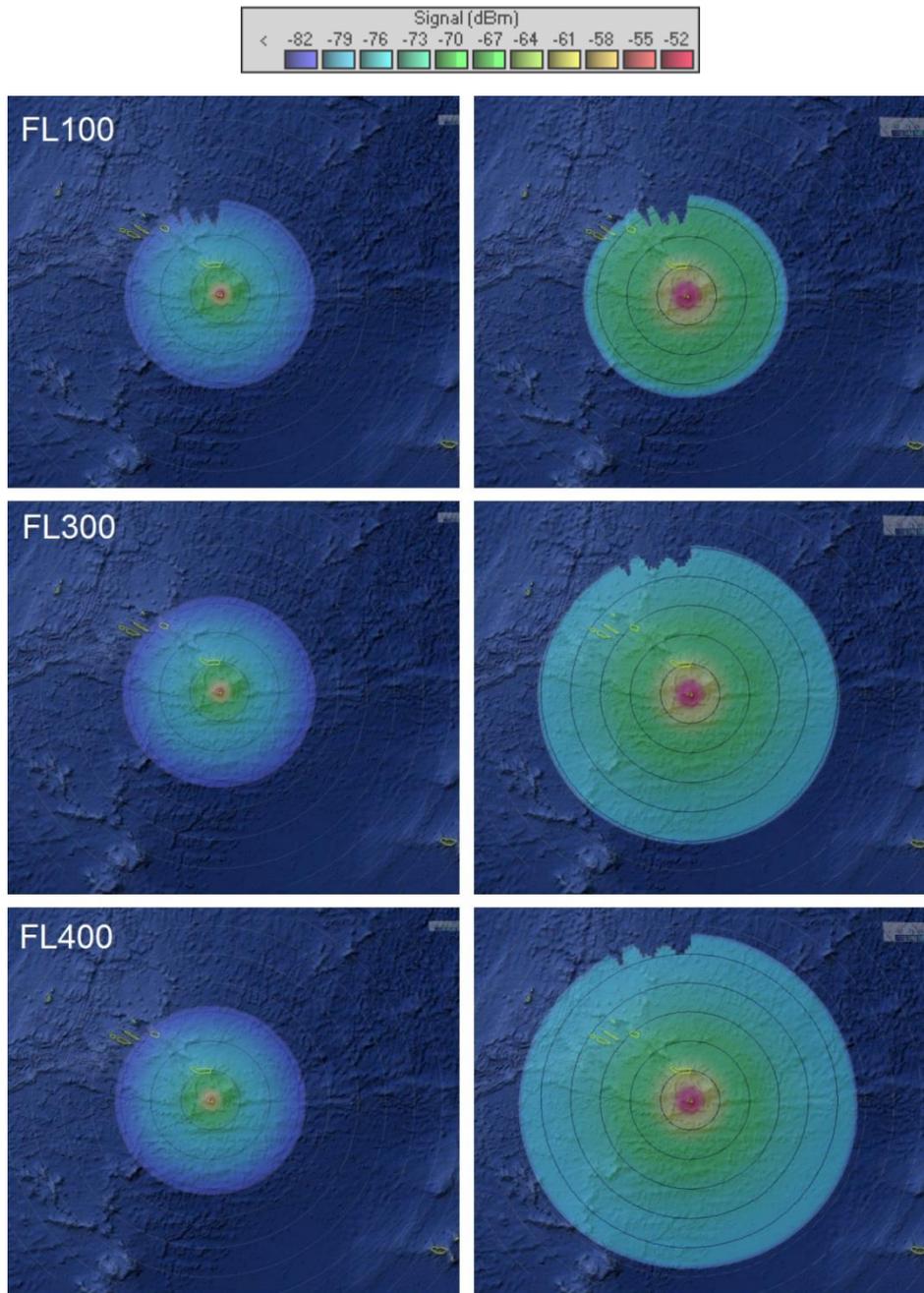


Figura H.1 - Comparação da cobertura VHF inicial (esquerda) e prevista (direita) – Santa Maria

- Estação do Pico dos Sete Pés / Morro Alto (Ilha das Flores)

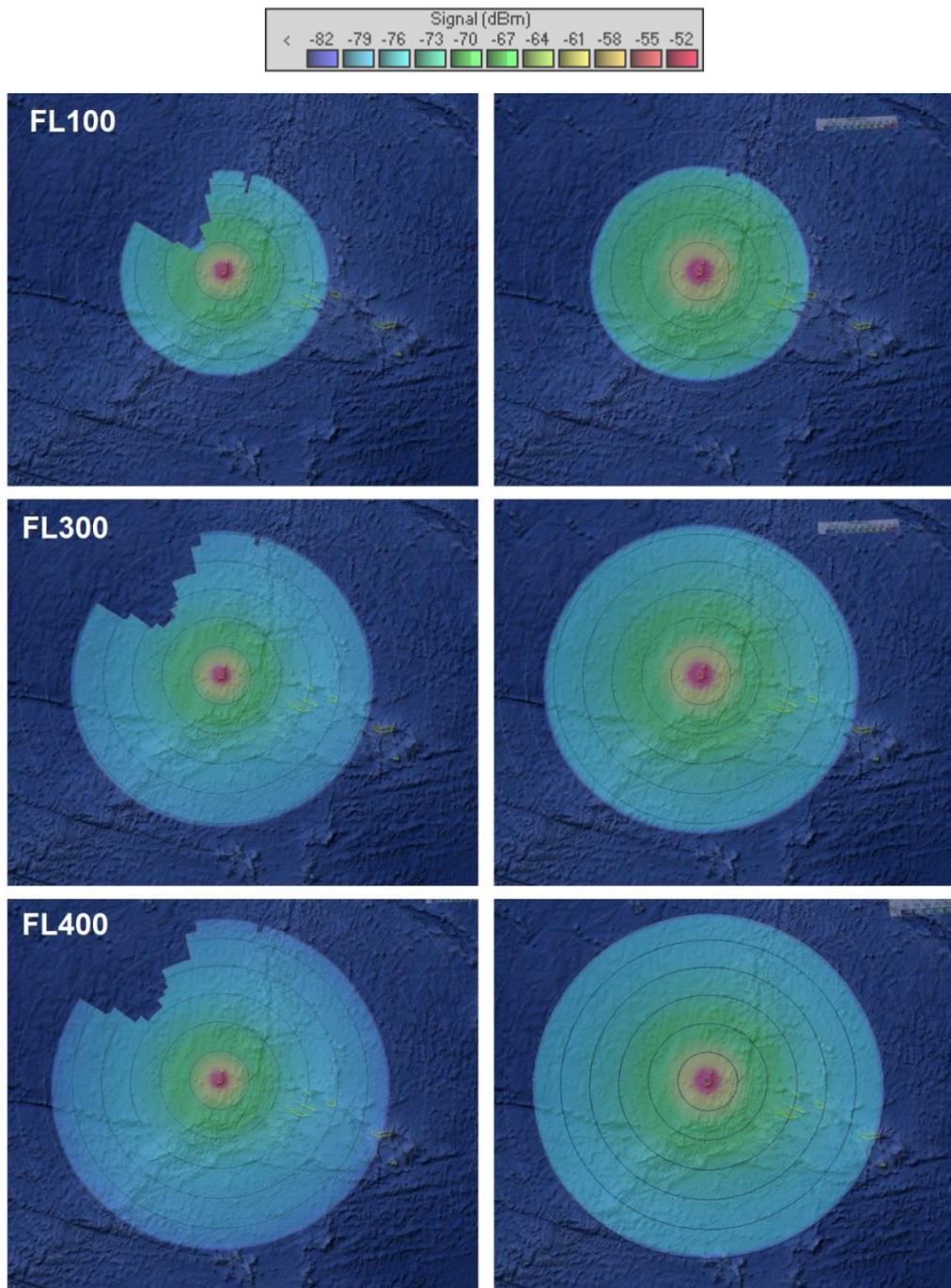


Figura H.2 - Comparação da cobertura VHF atual (esquerda) e prevista (direita) – Ilha das Flores

- Estação do Pico do Facho (Ilha do Porto Santo)

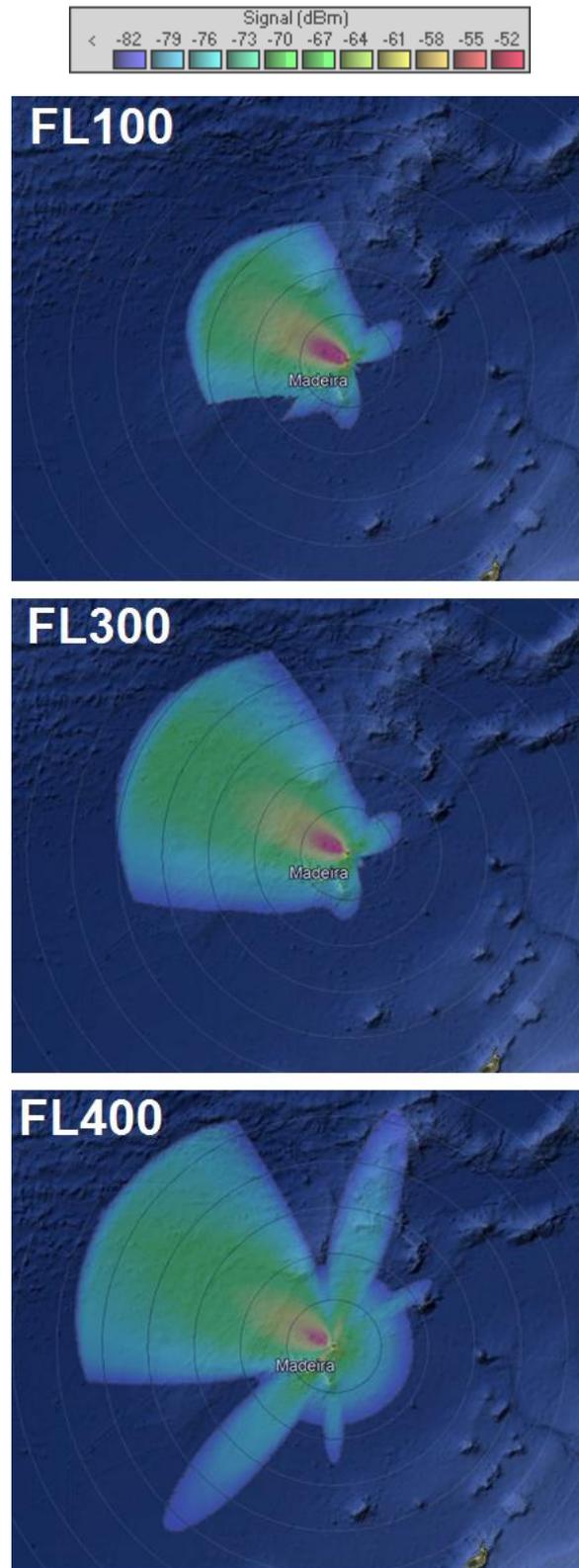


Figura H. 3 - Cobertura VHF atual – Porto Santo

- Estação da Serra de Santa Bárbara (Ilha Terceira)

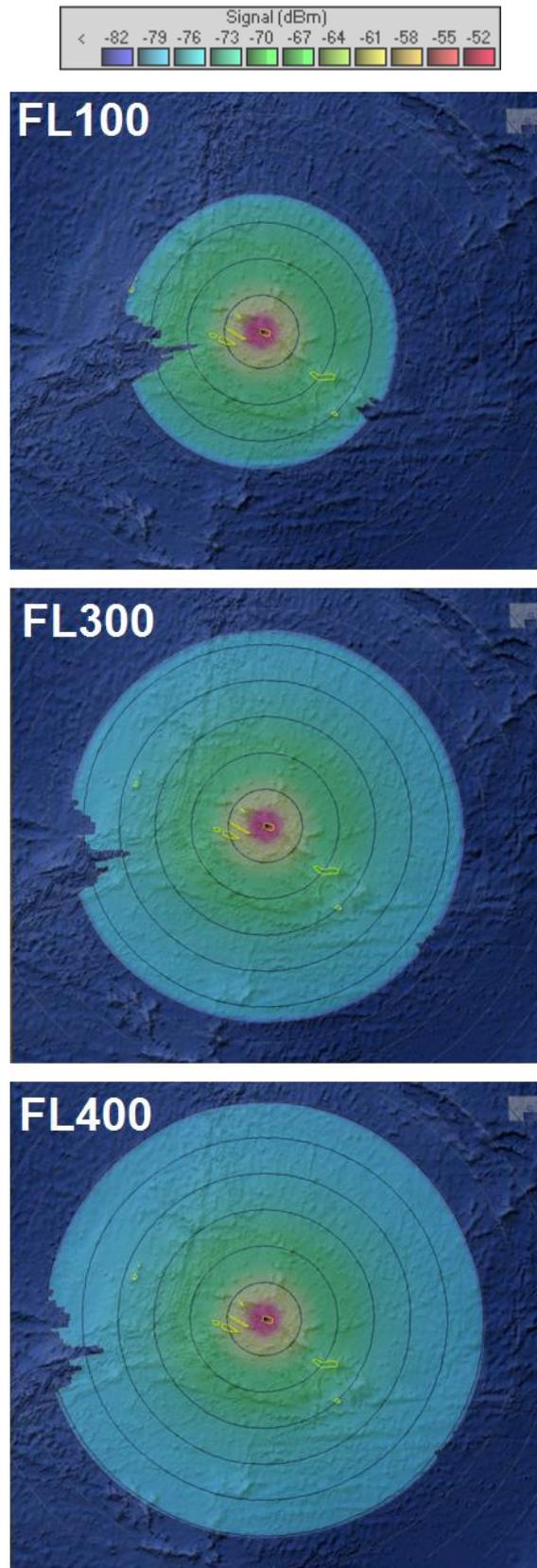


Figura H.4 - Cobertura VHF prevista – Ilha Terceira

# Apêndice I – “Resumo de trabalhos: Reestruturação Pico Alto”

Este apêndice reflete o resumo dos trabalhos efetuados no projeto elaborado referente à reestruturação do parque de antenas da estação do Pico Alto. Este projeto foi acompanhado em programa de estágio e a documentação do mesmo pode ser consultada em [56].

## I.1 - Relocalização das antenas

Foi efetuado um planeamento para o posicionamento das antenas em locais estratégicos de modo a que permitam uma melhor linha de vista em seu redor e que estejam livres da radiação proveniente do sistema SSR e da vegetação local. A solução mais viável consistiu em implementar 6 mastros rebatíveis (os quais poderão suportar até duas antenas). Na implementação dos mastros foi considerado:

- **Afastamento entre antenas no mesmo mastro:** de forma a garantir uma separação vertical e horizontal suficiente entre antenas.
- **Afastamento entre os diversos mastros:** para garantir um melhor isolamento e consequentemente uma maior imunidade a interferências locais, os diversos mastros foram colocados com a maior separação possível dentro dos limites da área disponível.

A Figura I.1 ilustra o levantamento topográfico do terreno disponível, bem como a identificação das localizações onde os mastros foram implementados.

A alocação das frequências utilizadas na estação do Pico Alto (previamente identificadas na secção 3.2.3.2) foi planeada de forma a promover um isolamento adequado entre antenas, favorecendo as frequências mais utilizadas. Além do mais, em nenhum mastro constam antenas referentes à mesma frequência (antena *main* e antena *backup*) promovendo a resiliência e a continuidade da operação. Na Tabela 27 consta a distribuição das antenas referentes a cada frequência em função dos diversos mastros.

Tabela 27 - Distribuição das frequências - Pico Alto

Mastro	1	2	3	4	5	6
Antena 1	132.15 MHz	129.4 MHz	127.9 MHz	132.15 MHz (antena <i>backup</i> )	121.5 MHz	125.1 MHz
Antena 2	n/a	121.5 MHz (antena <i>backup</i> )	129.4 MHz (antena <i>backup</i> )	127.9 MHz (antena <i>backup</i> )	125.1 MHz (antena <i>backup</i> )	n/a

# Apêndice I – “Resumo de trabalhos: Reestruturação Pico Alto”

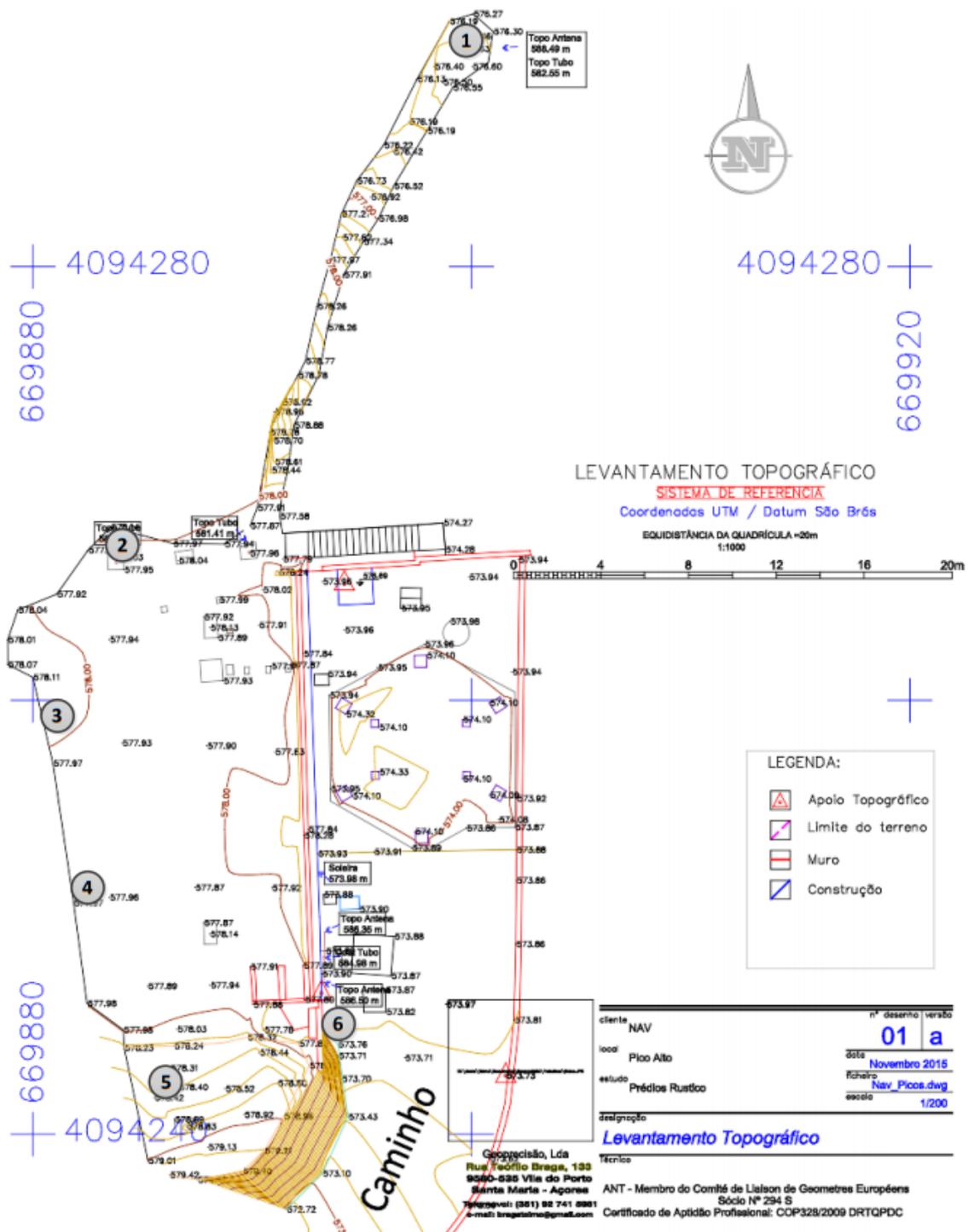


Figura I.1 - Levantamento topográfico da estação do Pico Alto

## I.2 - Substituição das antenas

O elevado nível de degradação das antenas existentes (*Sinclair SC272-SF1SNF* com um ganho de 0 dB) implicou a aquisição de novas antenas.

Após uma avaliação das antenas existentes no mercado, foi identificada a antena **Procom CXL 3-3C** como sendo a mais promissora para o projeto. Este equipamento vai de encontro ao pretendido visto ser um modelo robusto, polarizado verticalmente e proporcionar uma propagação omnidirecional com 3 dBd de ganho. A ficha técnica das especificações da antena **Procom CXL 3-3C** pode ser consultada no Anexo F – “Ficha técnica: PROCOM CXL 3-3C”

## I.3 - Substituição dos cabos RF

Foram substituídos os cabos degradados por cabos RF de baixas perdas de forma a reduzir as perdas introduzidas devido ao número de transições e conectores existentes. Foram consideradas as necessidades de aquisição de materiais cujas perdas introduzidas no sistema sejam mínimas. Nestas instalações foram utilizados dois cabos coaxiais de diferentes diâmetros consoante a aplicação:

- **CELLFLEX 7/8” LCF78-50JA-A7**: desde a saída do *arrester* até à base dos mastros das antenas;
- **COMMSCOPE Cnt 400**: desde a base do mastro até às antenas visto ser um cabo mais flexível que melhor se aplica às curvaturas.

As especificações técnicas dos cabos referidos podem ser consultadas no Anexo G – “Ficha técnica: CELLFLEX 7/8” LCF78-50JA-A7” e no Anexo H – “Ficha técnica: COMMSCOPE CNT-400”, respetivamente.

## I.4 - Colocação de filtros de receção

Foram colocados filtros de receção adequados ao uso para promover uma melhor relação sinal/ruído e tornar as comunicações mais limpas e menos suscetíveis a interferências.

## I.5 - Cenário final

Na Figura I.2 e na Figura I.3 são ilustradas as novas antenas implementadas nos novos mastros. Como é observável, as antenas encontram-se a uma altitude considerável sem vegetação em redor.



*Figura I.2 - Reestruturação Pico Alto - Mastro 1*



*Figura I.3 - Reestruturação Pico Alto - Mastros 2, 3, 4 e 5*

# Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER”

Este apêndice visa esclarecer com maior detalhe os parâmetros inseridos nas configurações do *Tester* e dos SUT's nos *test cases* efetuados.

## J.1 – Configurações VOTER: GRS\_Radio\_Interface\_Testcases

Nos SUT's (Rádio transmissor e rádio recetor):

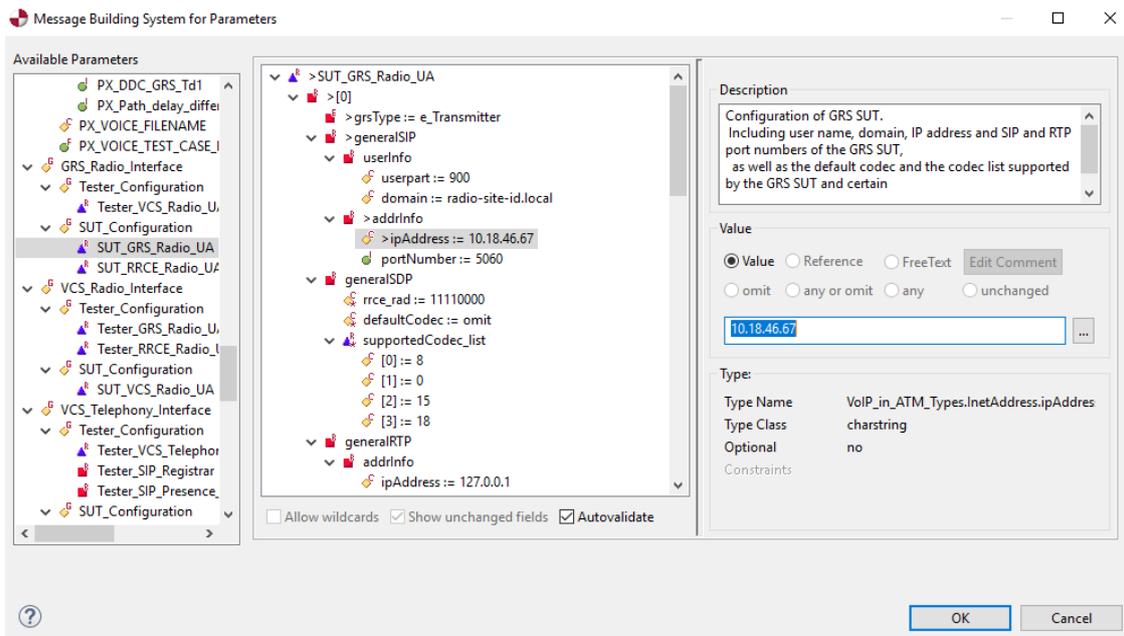


Figura J.1 - GRS\_Radio\_Interface\_Testcases: Configurações SUT (Rádio Emissor)

## Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER”

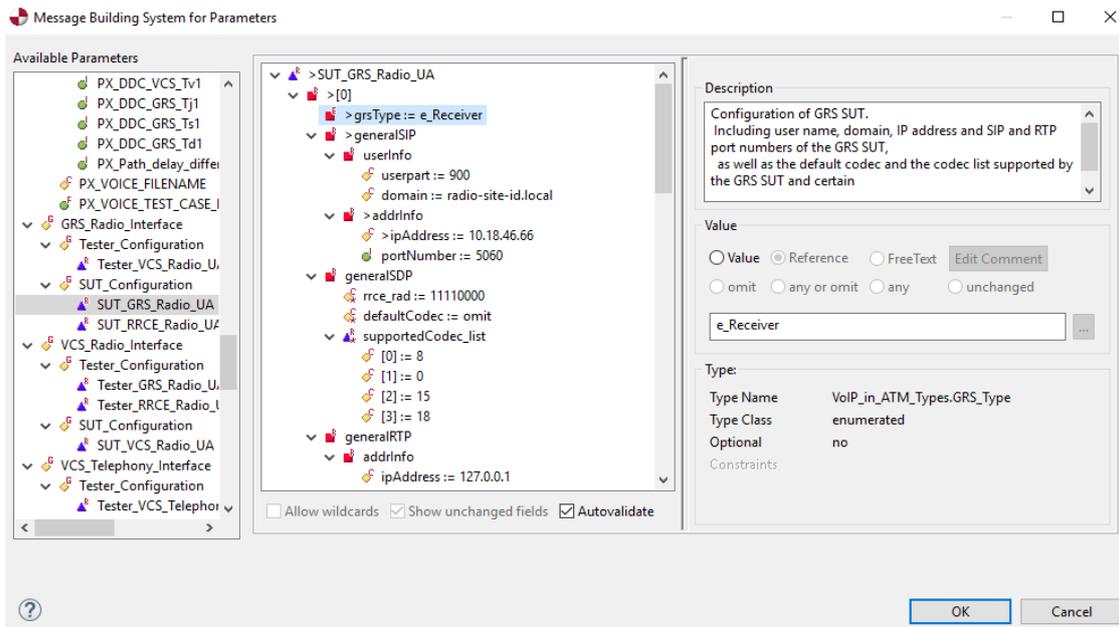


Figura J.2 - GRS\_Radio\_Interface\_Testcases: Configurações SUT (Rádio Recetor)

### No Tester:

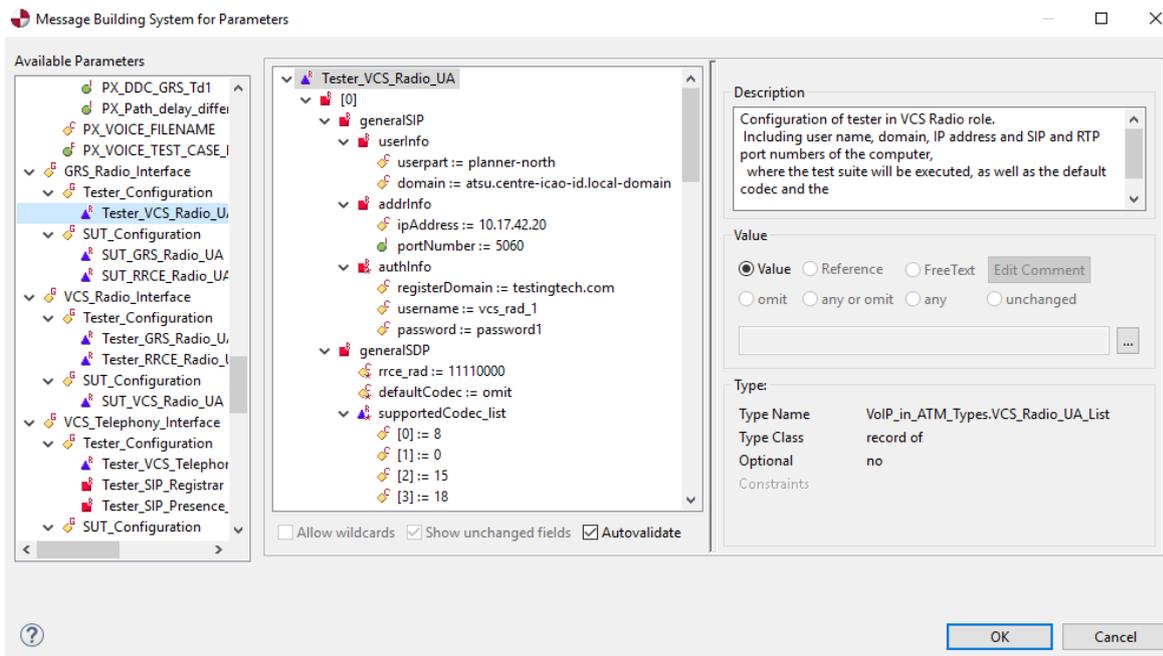


Figura J.3 - GRS\_Radio\_Interface\_TestCases: Configurações Tester

Os dados necessários para a configuração no VOTER foram obtidos a partir do sistema de controlo e monitoria dos rádios JOTRON.

IPv4  
Ip address: **10.18.46.67**  
Netmask: **255.255.255.0**  
Gateway: **10.18.46.254**  
DHCP enabled: **no**

Figura J.4 - IP do rádio transmissor

RCMS Lite/Pico Alto/127.900 TX A

System | Bits | Control | Rf | Interface | Snmp | Voip

Voip protocol: ED137  
Voip JitterBuf (ms): 0  
VoIP codec: Alaw

Ed 137  
 Allow PTT summation  
 Allow coupling summation  
 Enable linked sessions  
 Terminate on frequency change  
 Allow multiple VCS  
 Allow radio calls only  
 Enable static stream  
Radio Username: 900  
Established sessions: ec0  
Max sip connections: 4

RTP  
RTP sync src: 0  
RTP out ip: 0.0.0.0  
RTP in ip: 0.0.0.0  
RTP in port: 3003  
RTP out port: 3004  
RTP frame size: 20

Master Record

IP Address	Ping interval	Codec	Transport	Frame size	Record path	RTSP port	Record Status
---	5	MuLaw	Rtsp	20 ms	/preorder	554	Disconnected
---	5	MuLaw	Rtsp	20 ms	/preorder	554	Disconnected
---	5	MuLaw	Rtsp	20 ms	/preorder	554	Disconnected

Figura J.5 - Username SIP do radio transmissor

IPv4  
Ip address: **10.18.46.66**  
Netmask: **255.255.255.0**  
Gateway: **10.18.46.254**  
DHCP enabled: **no**

Figura J.6 - IP do rádio recetor

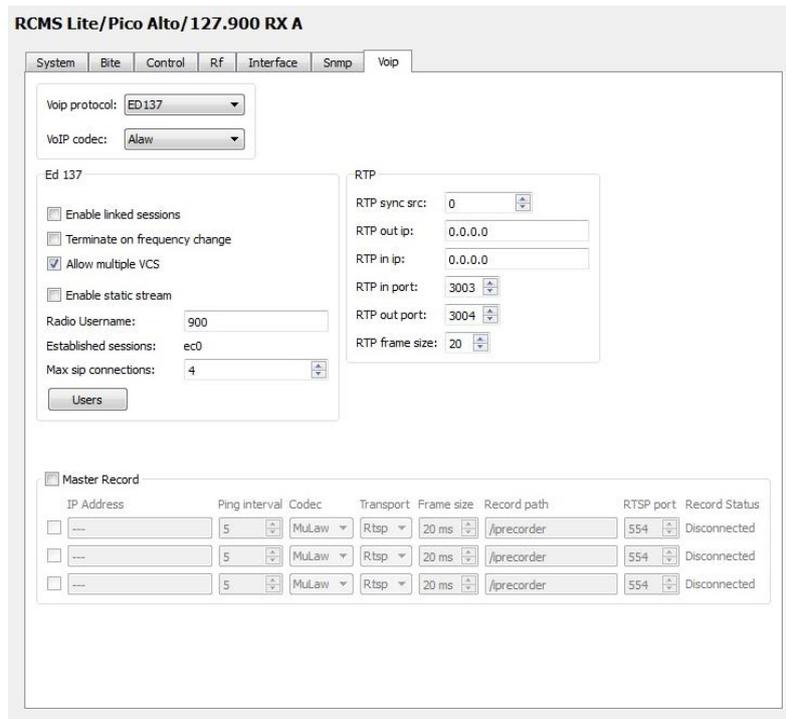


Figura J.7 - Username SIP do rádio receptor

## J.2 – Configurações VOTER: VCS\_Radio\_Interface\_Testcases

### No SUT (VCS):

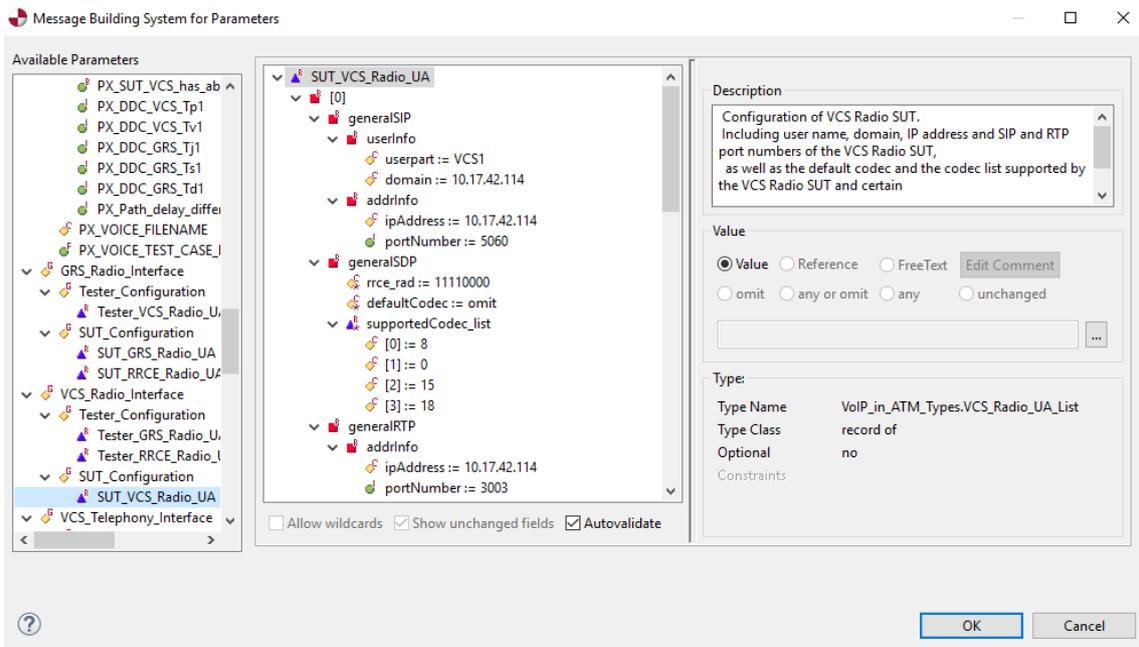


Figura J.8 - VCS\_Radio\_Interface\_TestCases: Configurações SUT

**No Tester:**

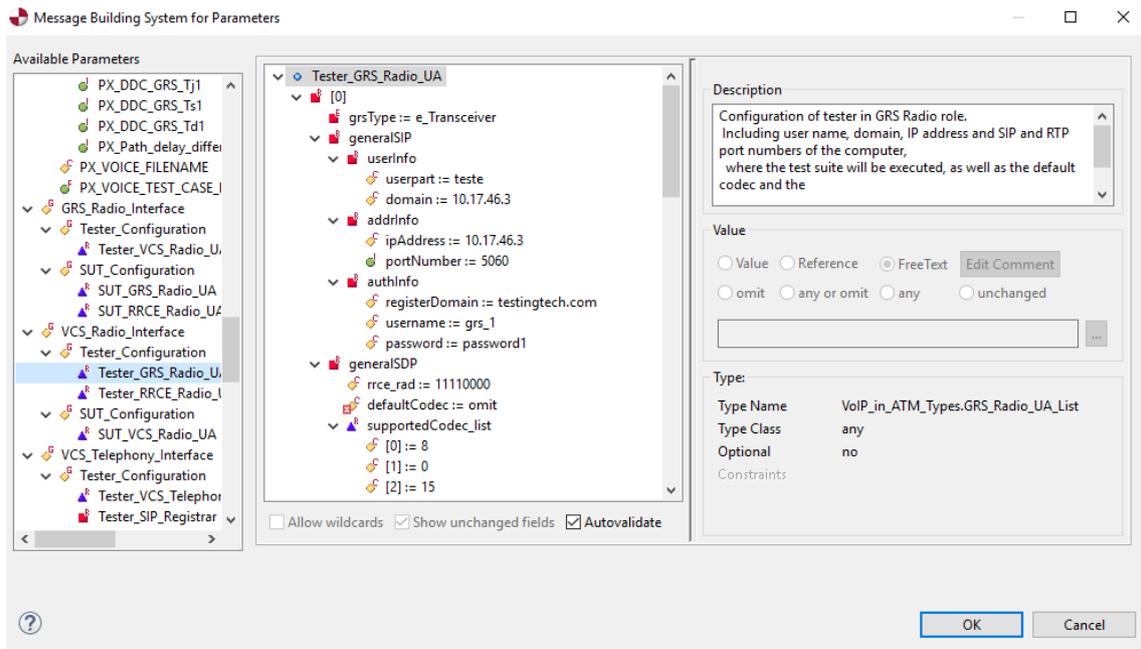


Figura J.9 - VCS\_Radio\_Interface\_TestCases: Configurações Tester

Os dados necessários para a configuração no VOTER foram obtidos a partir do *software* de monitoria e controlo do VCS Frequentis 3020X.

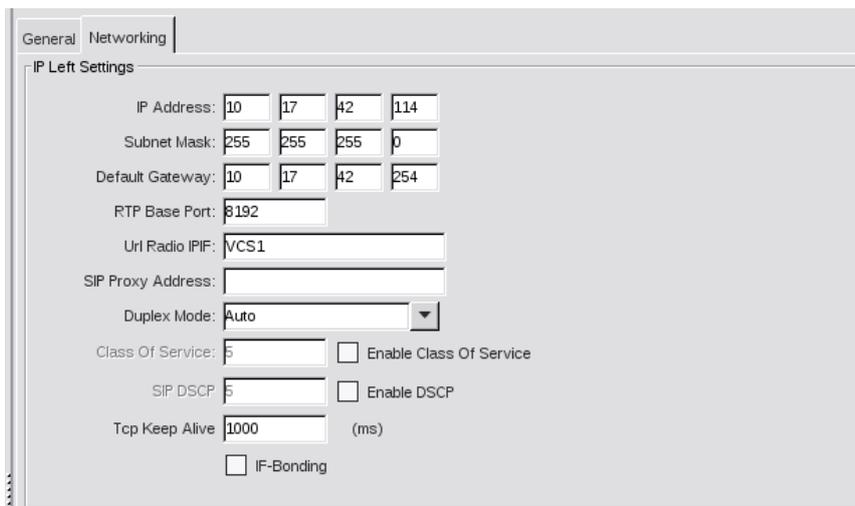


Figura J.10 - Dados da carta Main do VCS

## Apêndice J – “Configurações efetuadas no VOTER”

Edit Conversion To SIP-URI

SIP-URI Left IPIF: teste@10.17.46.3:5060

SIP-URI Right IPIF: teste@10.17.46.3:5060

SIP-URI V Tx Left: teste@10.17.46.3:5060

SIP-URI V Tx Right: teste@10.17.46.3:5060

RadioChannel: P\_PA\_02 Ch15 ← Select

RTP Parameter: Measurements ▼

V Tx: Measurements ▼ Clear

R2S Parameter: R2SParam 0 ▼

V Tx: R2SParam 0 ▼ Clear

**Rx Supported Codescs**

Used Supported Codescs	Available Supported Codescs
Codec	Codec
eCodecG711Alaw	
eCodecG711Ulaw	
eCodecG729a	
← Add	
→ Remove	

**Tx Supported Codescs**

Used Supported Codescs	Available Supported Codescs
Codec	Codec
eCodecG711Alaw	
eCodecG711Ulaw	
eCodecG729a	
← Add	
→ Remove	

Figura J.11 - Canal do VCS configurado para os testes

# Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

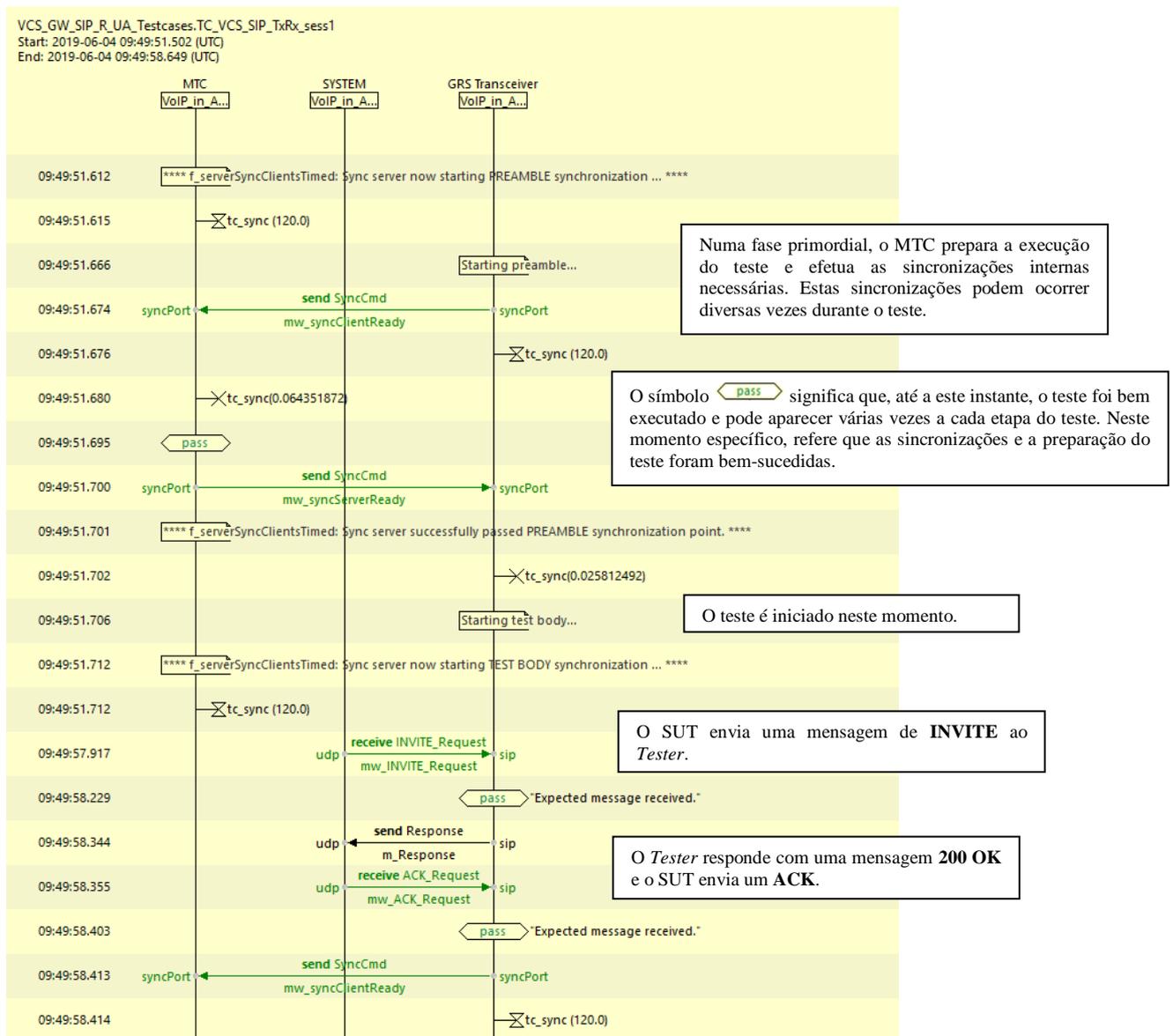
- TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

SIP session establishment to Transceiver: VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester emulating a GRS Transceiver. Tester verifies that INVITE request is valid and responds with 200OK. Tester verifies it receives an ACK request and SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3.1, 3.3.2, 3.4.2.1



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”



Figura K.1 - Output TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess1

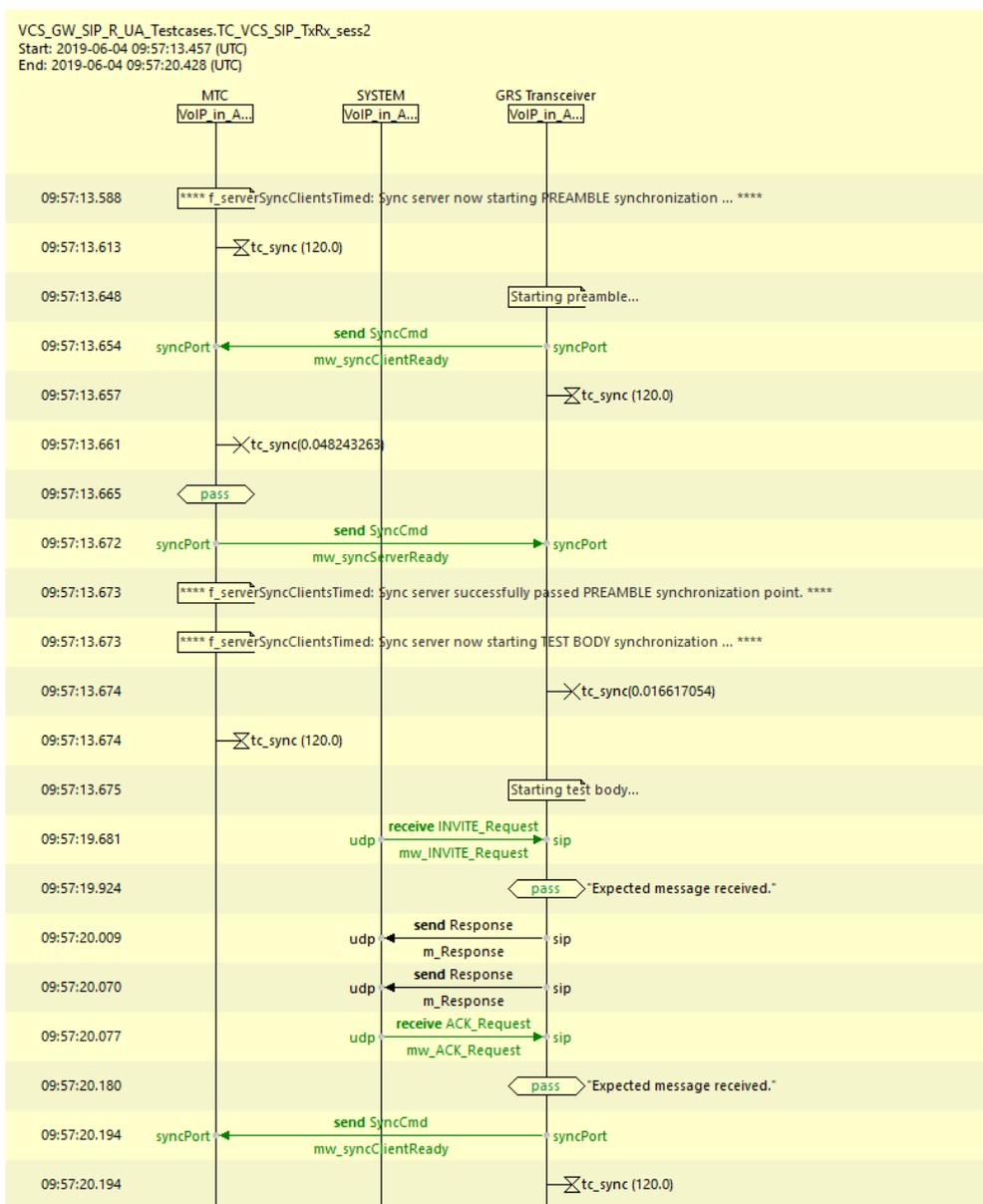
• TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

SIP session establishment to Transceiver with 180Ringing response: VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester emulating a GRS Transceiver. Tester verifies that INVITE request is valid. Tester responds with 180 Ringing followed by a 200OK. Tester verifies it receives an ACK and SIP Radio session is established. N.B. Tester verifies that VCS Radio UA ignores the optional 180 Ringing and doesn't reject the INVITE request.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3.1, 3.3.2, 3.4.1.2, 3.4.2.1



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

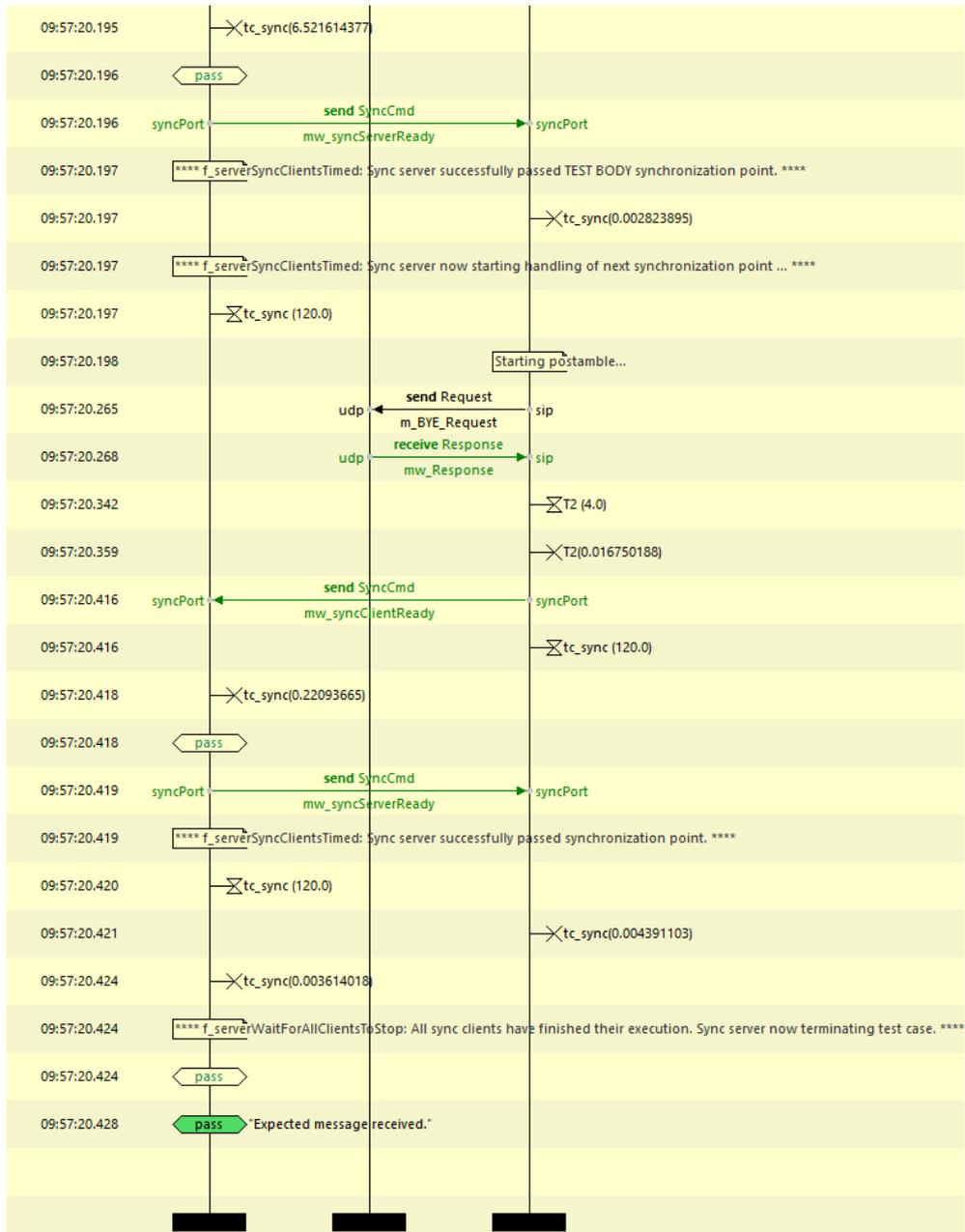


Figura K.2 - Output TC\_VCS\_SIP\_TxRx\_sess2

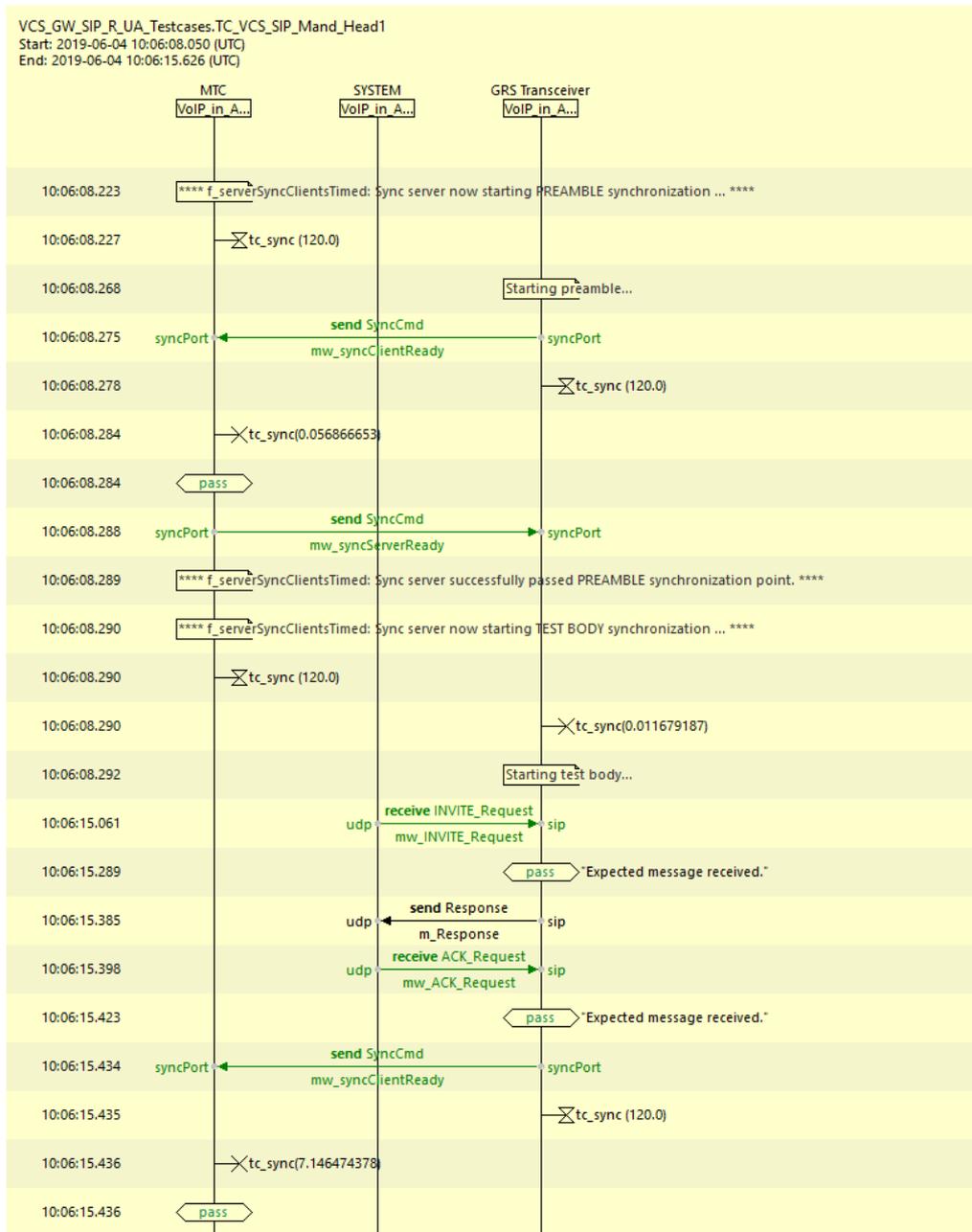
• TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Priority Header “Normal”: VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester containing a Priority header field value set to “Normal”. Tester responds with 200OK to the VCS Radio UA and verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.2.4



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

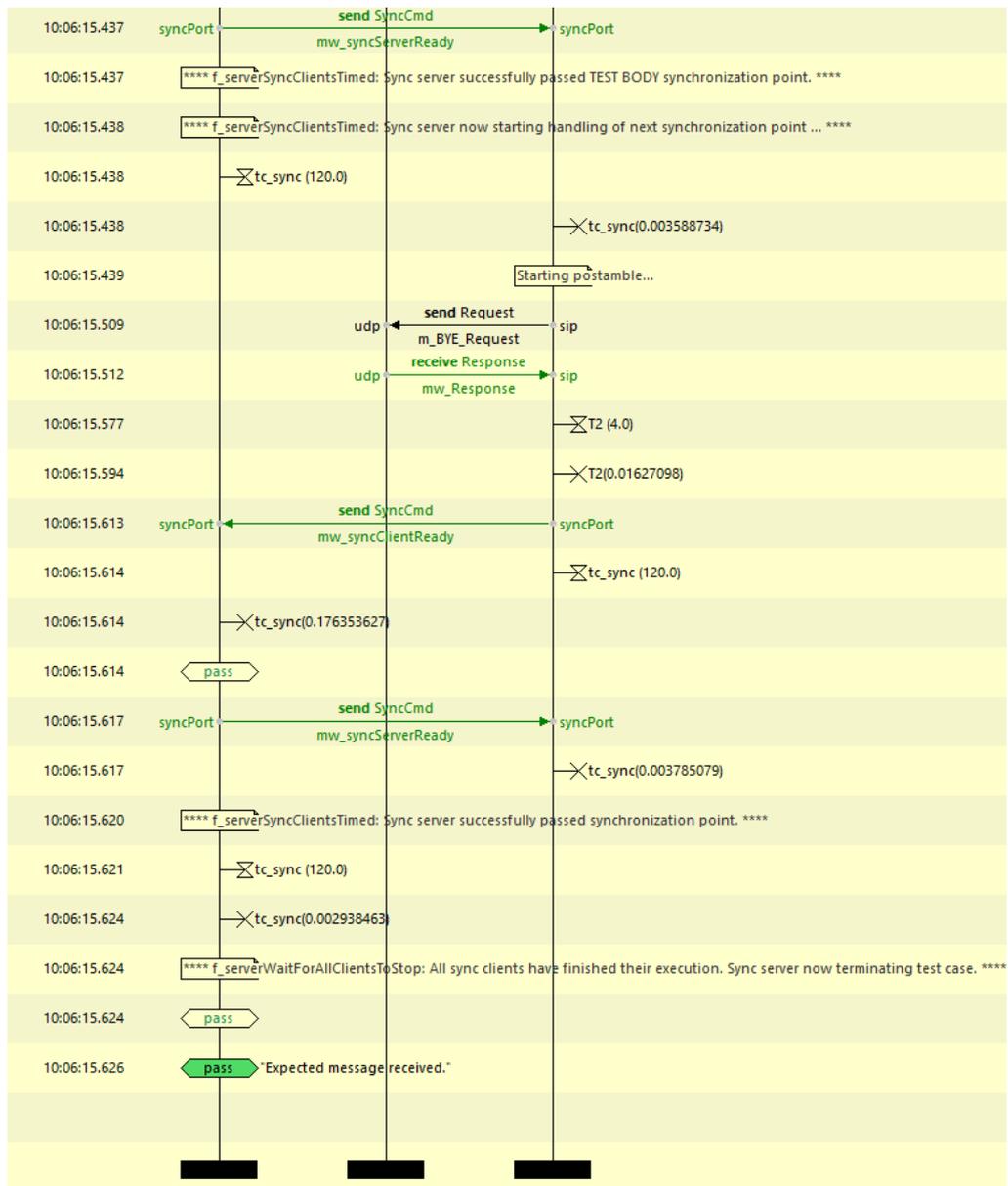


Figura K.3 - Output TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head1

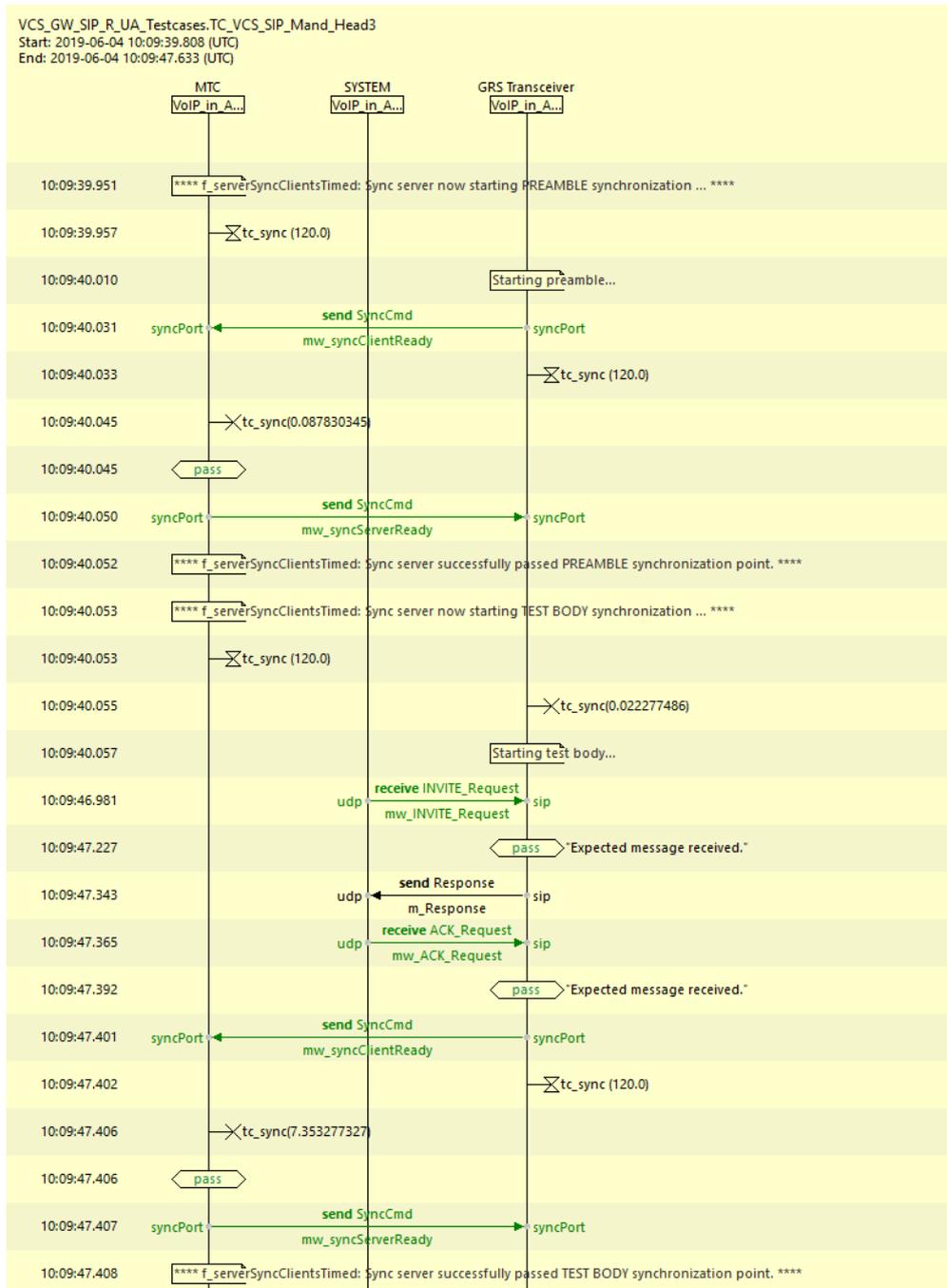
• TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head3

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Subject Header “Radio”: VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester containing a Subject header field value set to “Radio”. Tester responds with a 200OK and verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.2.5



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

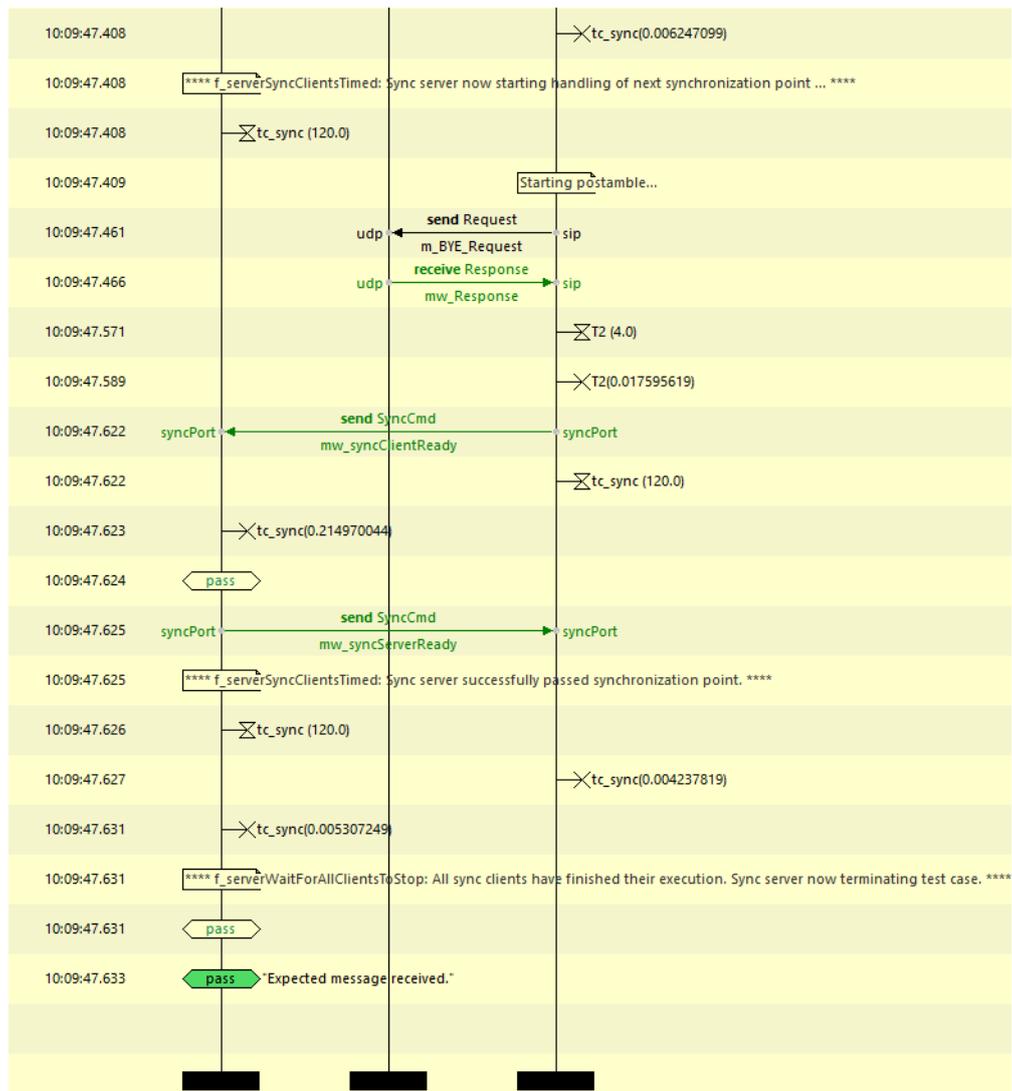


Figura K.4 - Output TC\_VCS\_SIP\_Mand\_Head3

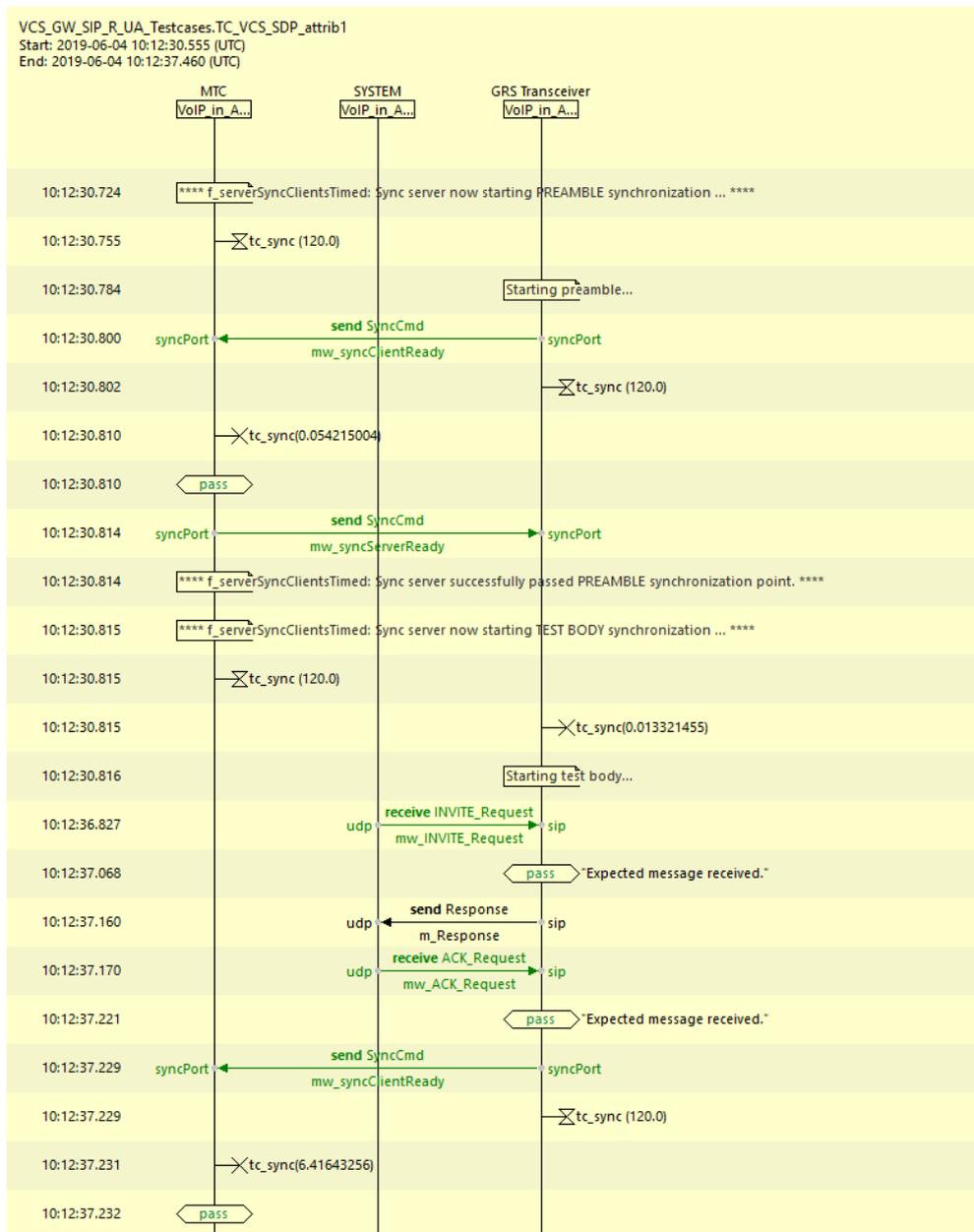
• TC\_VCS\_SDP\_attrib1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Send-receive-mode attribute: VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester containing an SDP message body with attribute appropriate for <send-receive-mode > set to sendrecv. a=sendrecv Tester answers with a 200OK response containing SDP message body accepting the sendrecv attribute. a=sendrecv and verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.2



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

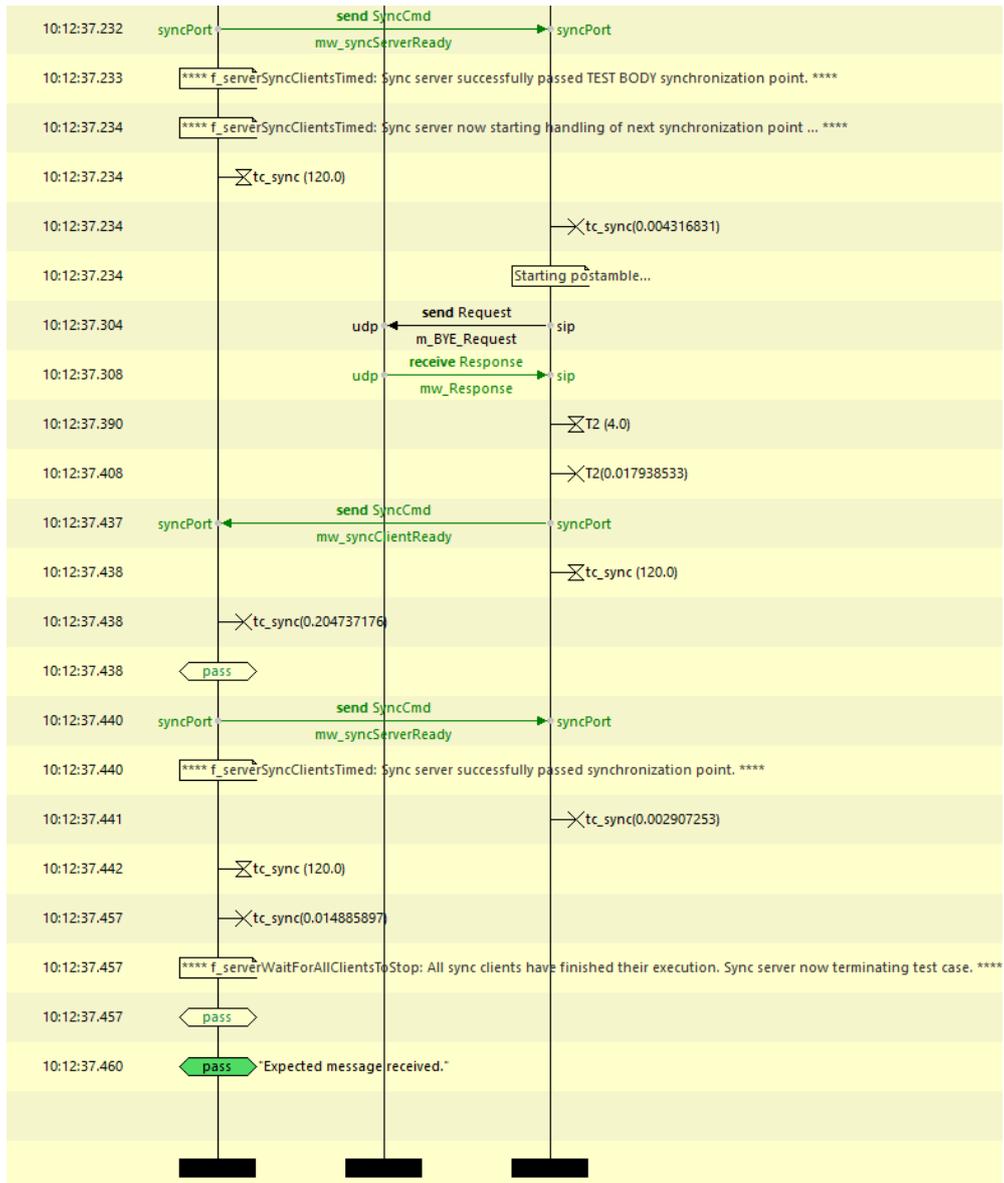


Figura K.5 - Output TC\_VCS\_SDP\_attrib1

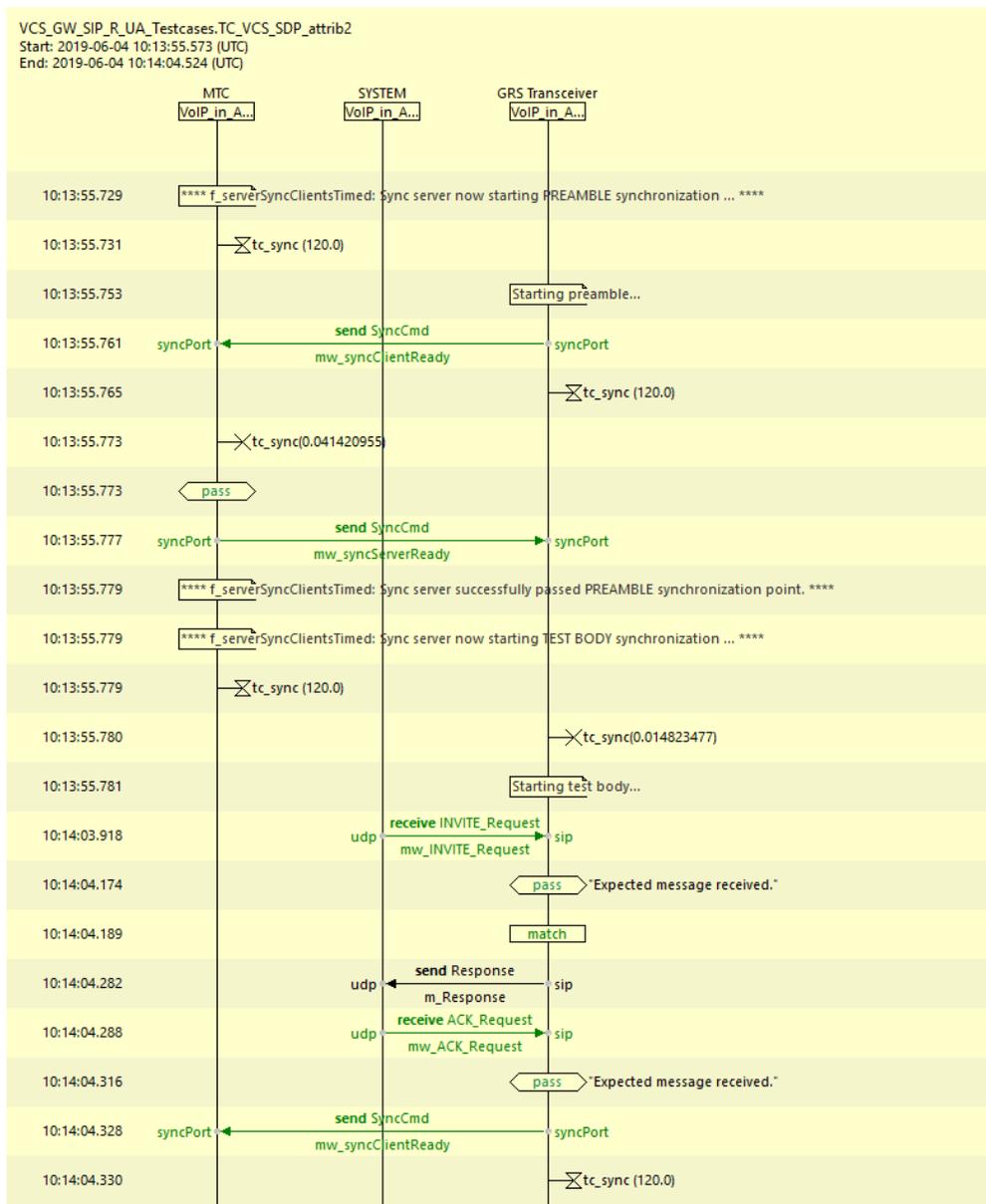
• TC\_VCS\_SDP\_attrib2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

G.711 PCM A-law codec attribute VCS Radio UA sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the Tester containing an SDP message body with default (in Europe only) media description and optional rtpmap attribute appropriate for G.711 PCM A-law and R2S payload types. m=audio 5004 RTP/AVP 8 123a=rtpmap:8 pcma/8000 a=rtpmap:123 R2S/8000 Tester answers with a200OK response containing SDP message body accepting the G.711 PCM A-law and R2S payload types. On receipt of an ACK verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.3



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

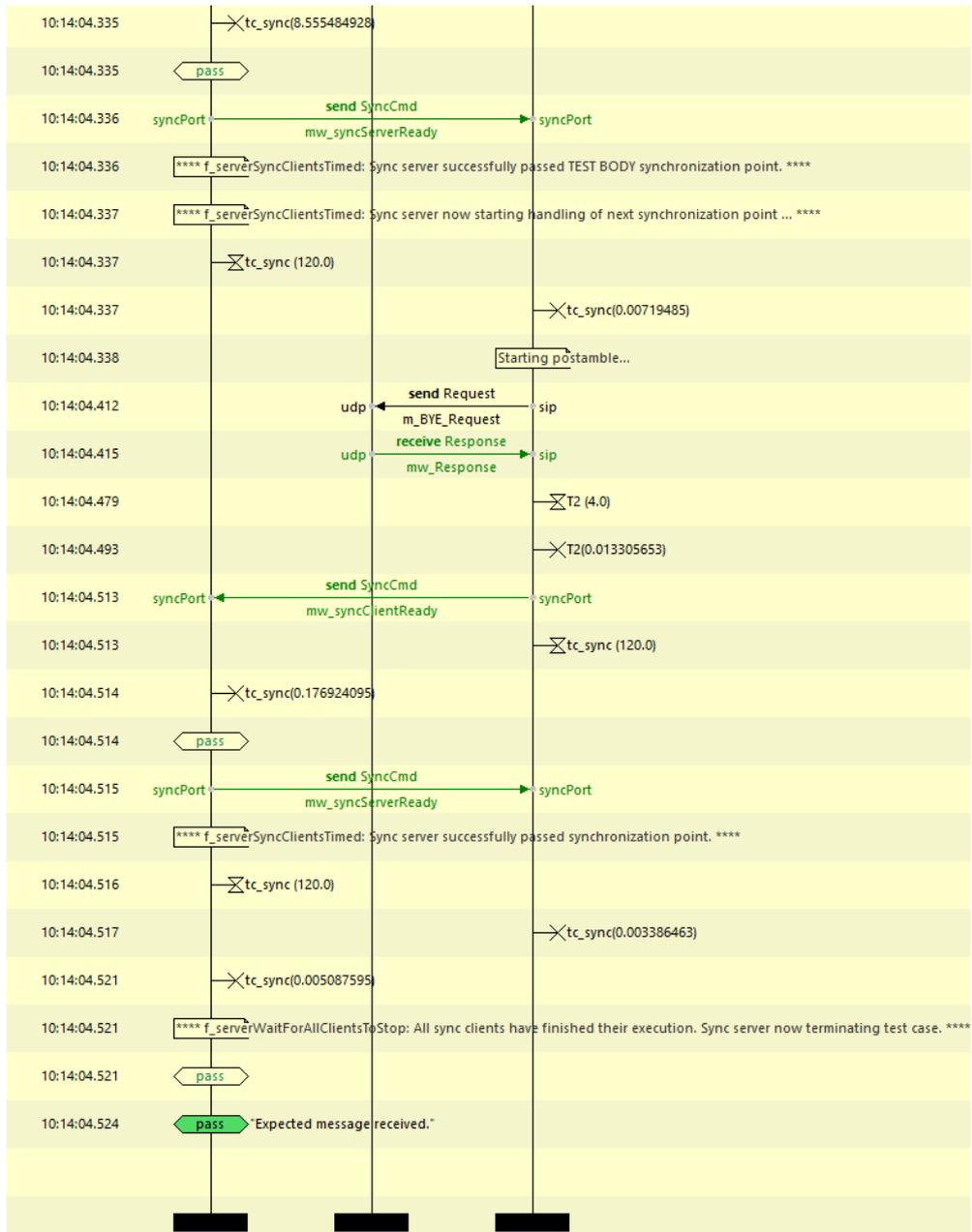


Figura K.6 - Output TC\_VCS\_SDP\_attrib2

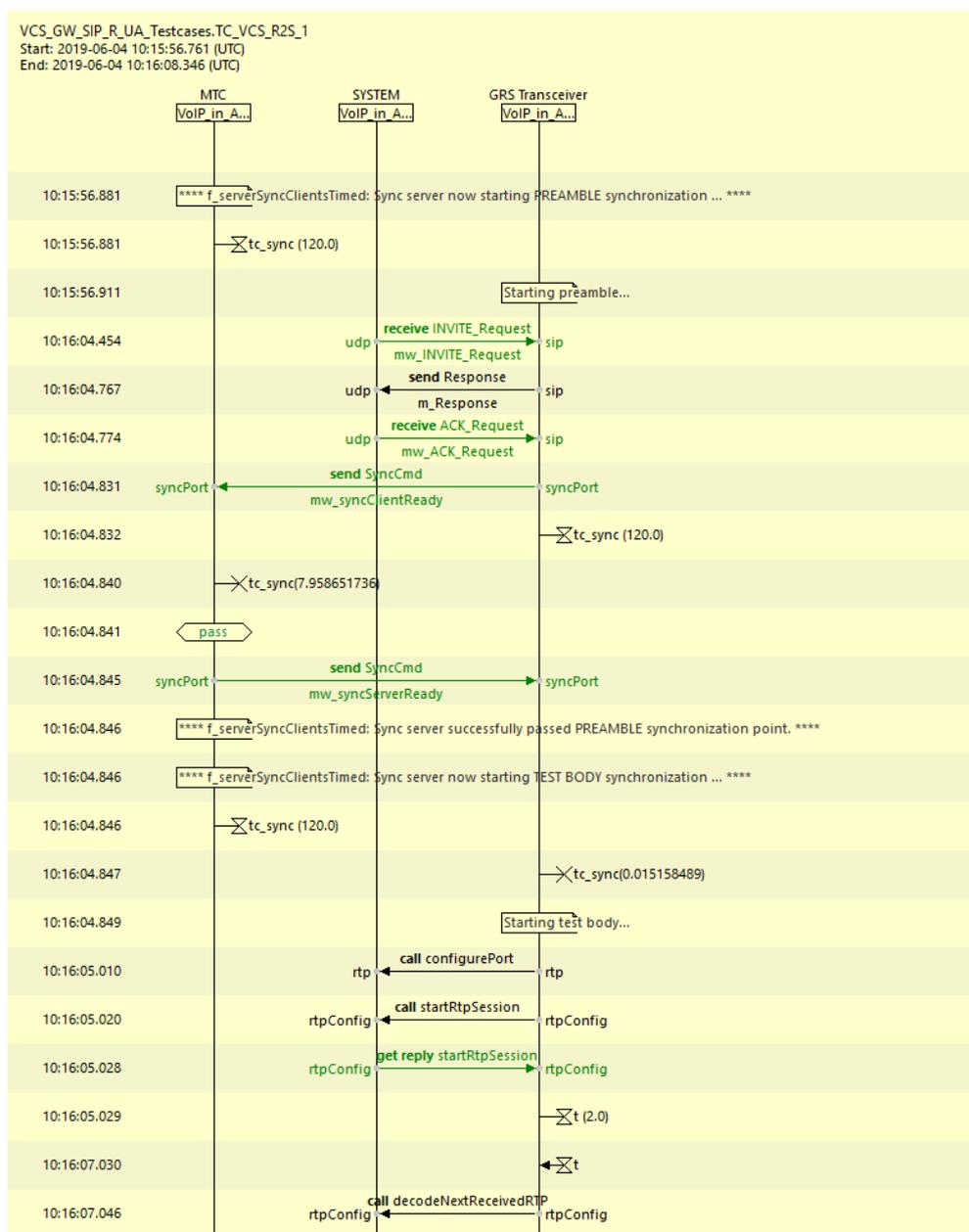
• TC\_VCS\_R2S\_1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

R2S-KeepAlive Packet Exchange: VCS Radio UA establishes a SIP session to the Tester. The Tester sends R2S-Keepalive packets at the R2S-KeepAlivePeriod to the VCS Radio UA with PT3 and an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at theR2SKeepAlivePeriod from the VCS Radio UA with PT3 and an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”

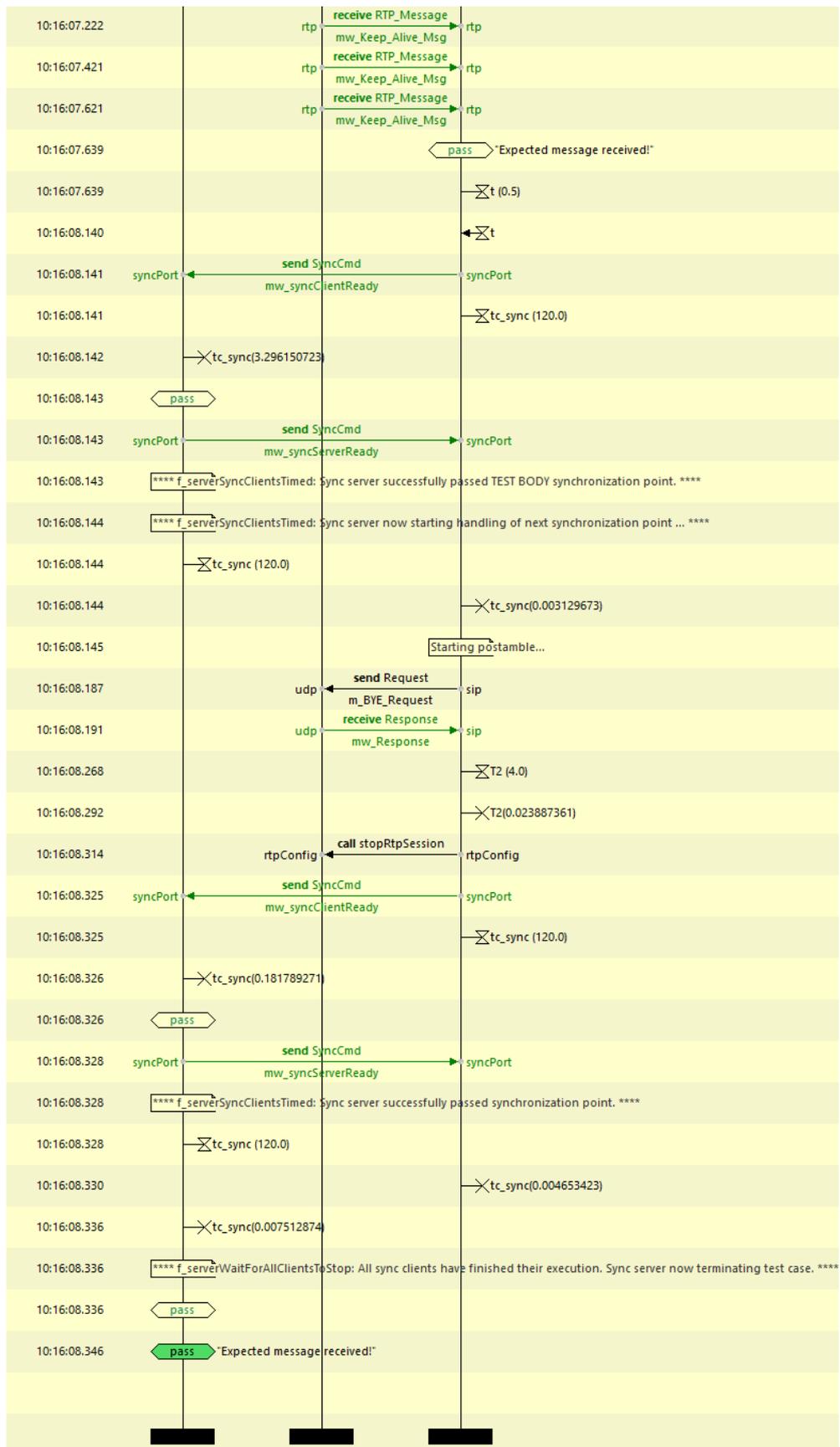


Figura K.7 - Output TC\_VCS\_R2S\_1

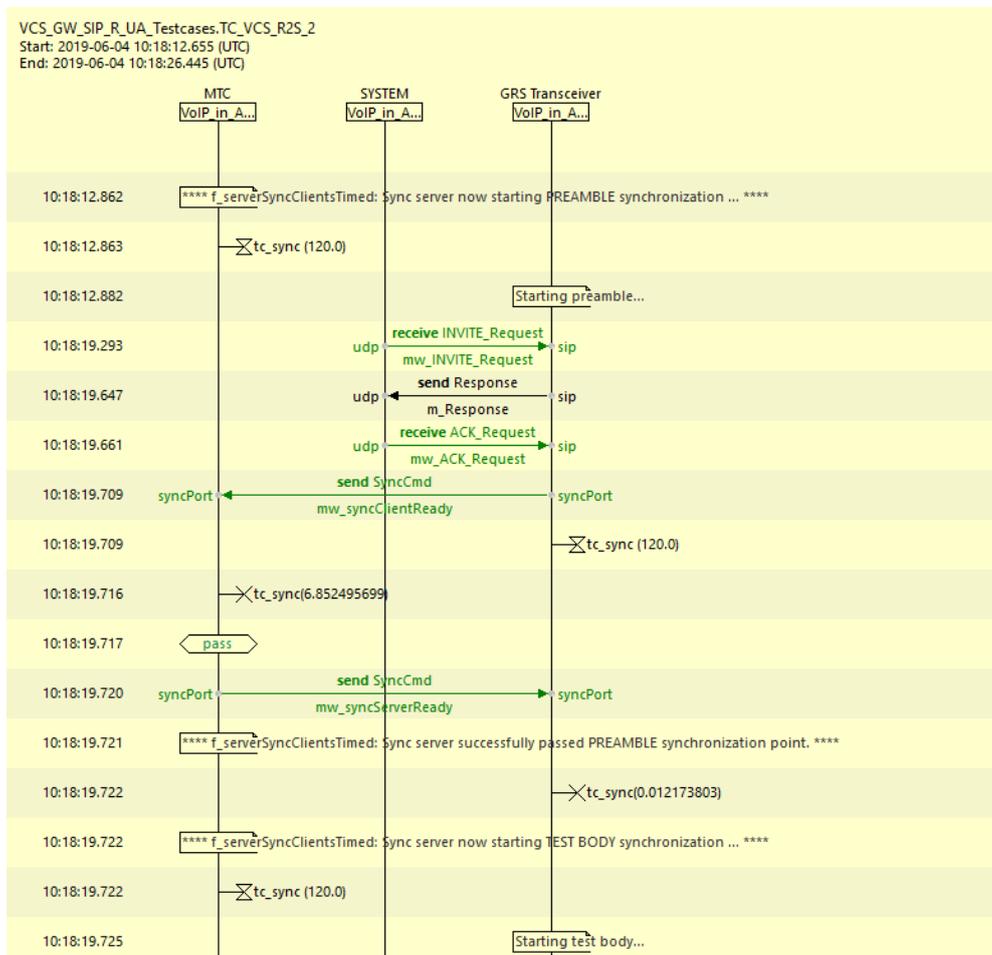
• TC\_VCS\_R2S\_2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

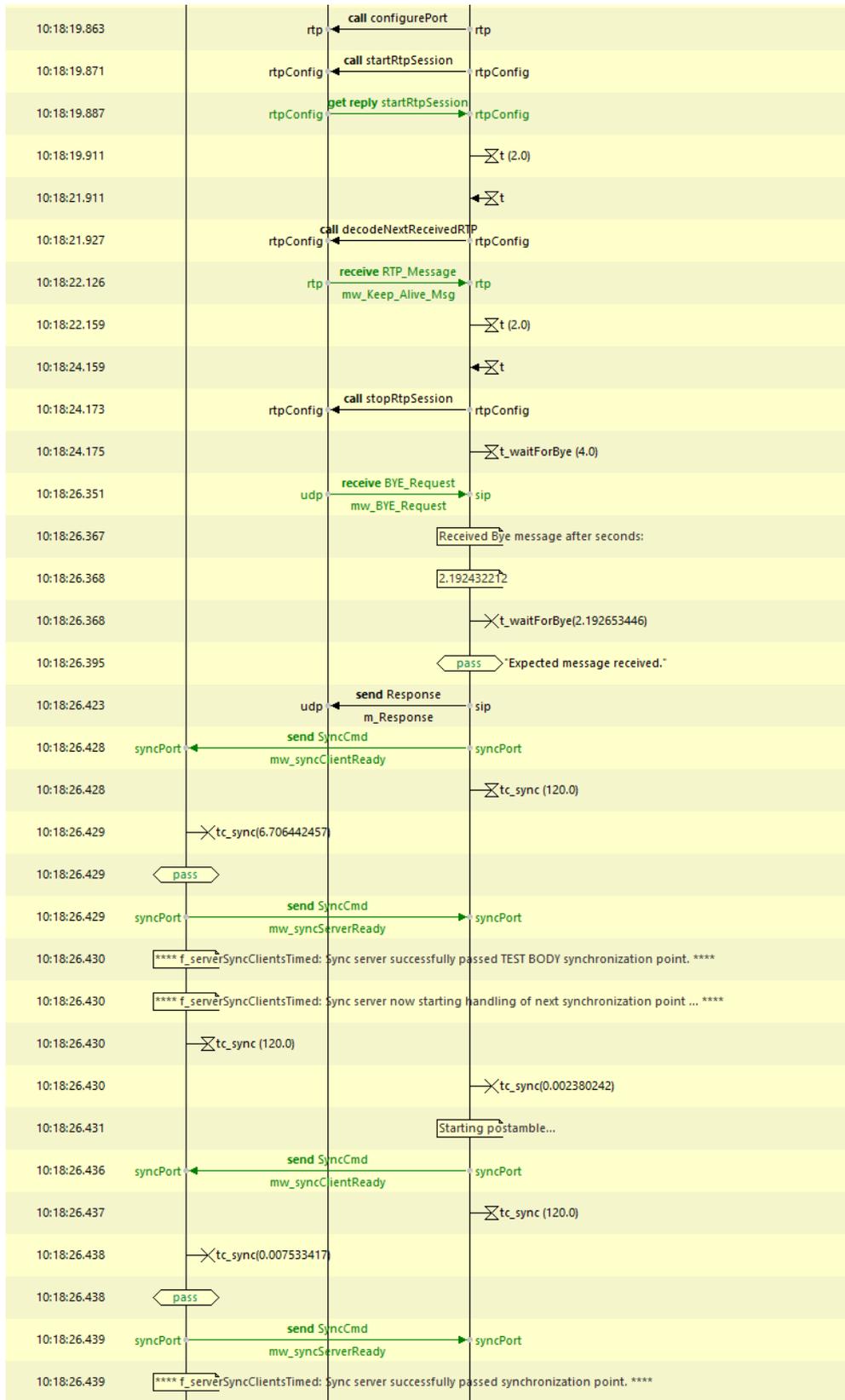
VCS R2S-LocalHoldTime Expiry VCS Radio UA establishes a SIP session to the Tester. The VCS Radio UA sends R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the Tester. The Tester sends R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the VCS Radio UA. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at theR2S-KeepAlivePeriod from the VCS. The Tester stops sending R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the VCS Radio UA. The Tester verifies that after a period equal to the configured R2SLocalHoldTime (as defined by PIXIT), the VCS Radio UA sends a BYE message to terminate the session containing a WG67 reason cause 01 (missing R2S-KeepAlive). Note: R2S-LocalHoldTime=R2S-KeepAlivePeriod x R2S-KeepAliveMultiplier.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



## Apêndice K – “Output VCS\_Radio\_Interface\_Testcases”



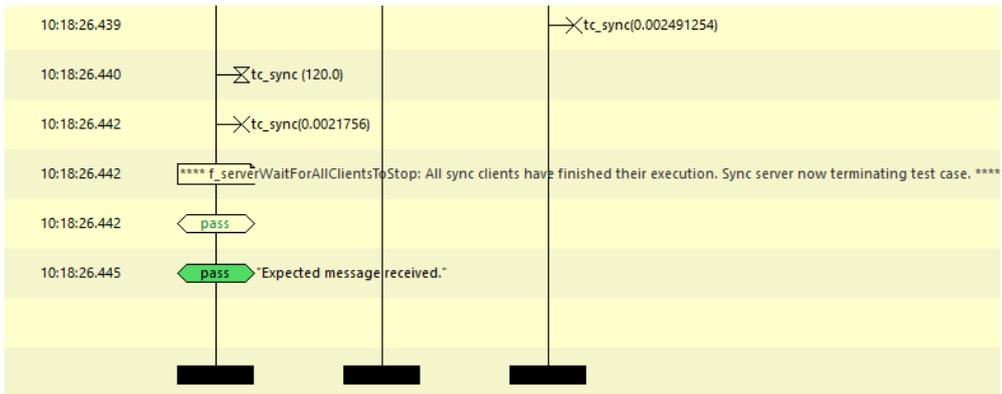


Figura K.8 - Output TC\_VCS\_R2S\_2



# Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

## L.1 – Resultados com GRS Transmissor

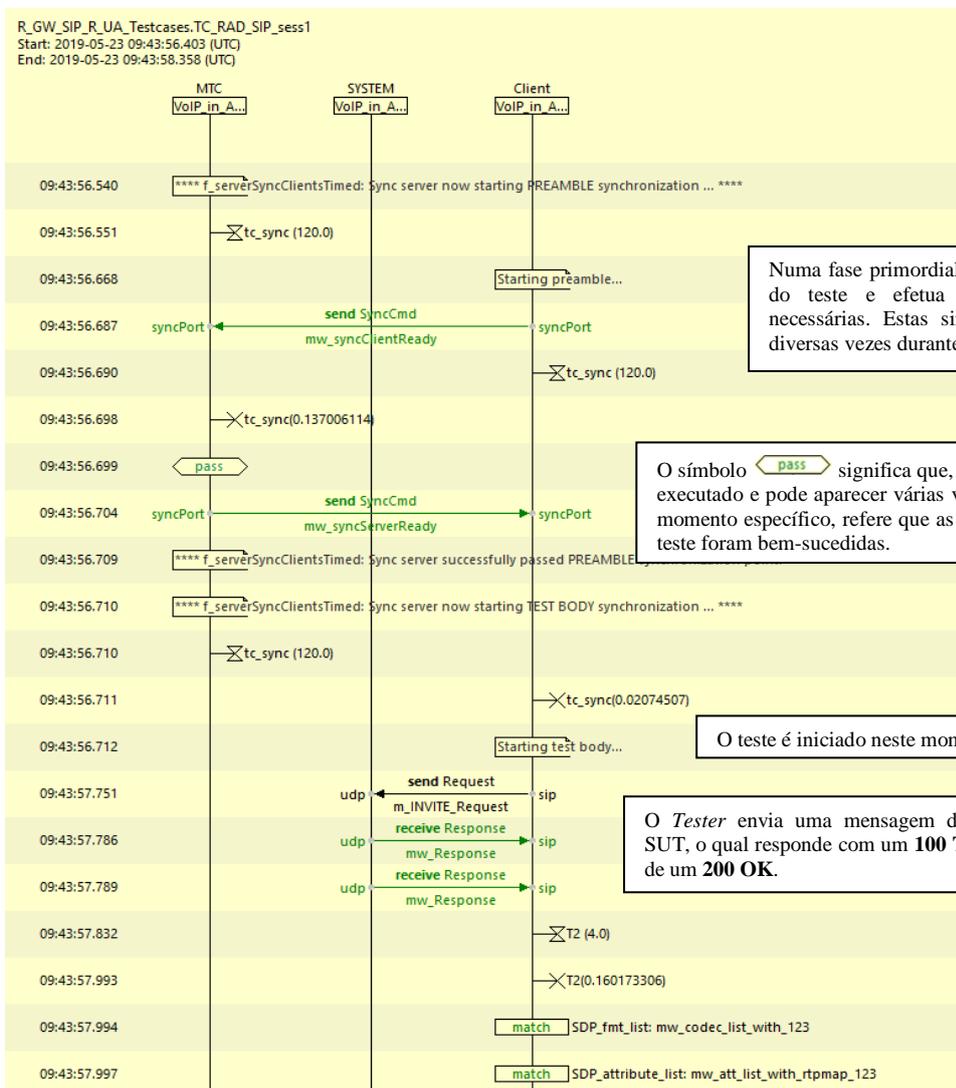
- **Transmissor: TC\_RAD\_SIP\_sess1**

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

SIP session establishment: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester verifies that GRS responds with a 200OK before it responds with an ACK and SIP Radio session is established. Tester should verify that GRS responds automatically with a 200OK final response. Note: Test case should allow an optional 180Ringing response to be received from GRS prior to a 200OK.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.2, 3.4.1.2, 3.4.2.1



Numa fase primordial, o MTC prepara a execução do teste e efetua as sincronizações internas necessárias. Estas sincronizações podem ocorrer diversas vezes durante o teste.

O símbolo **pass** significa que, até a este instante, o teste foi bem executado e pode aparecer várias vezes a cada etapa do teste. Neste momento específico, refere que as sincronizações e a preparação do teste foram bem-sucedidas.

O teste é iniciado neste momento.

O Tester envia uma mensagem de INVITE ao SUT, o qual responde com um 100 Trying seguido de um 200 OK.

## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

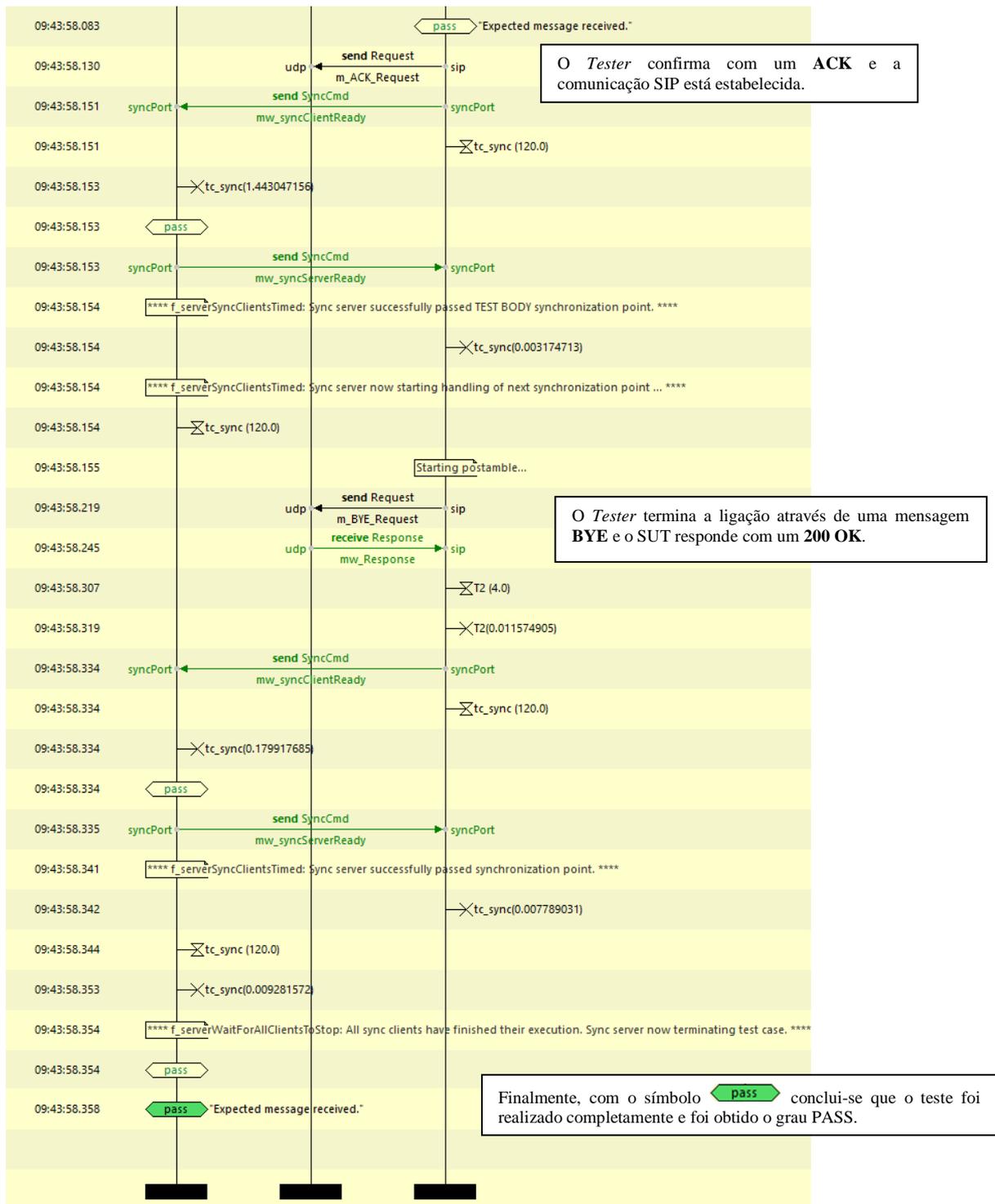
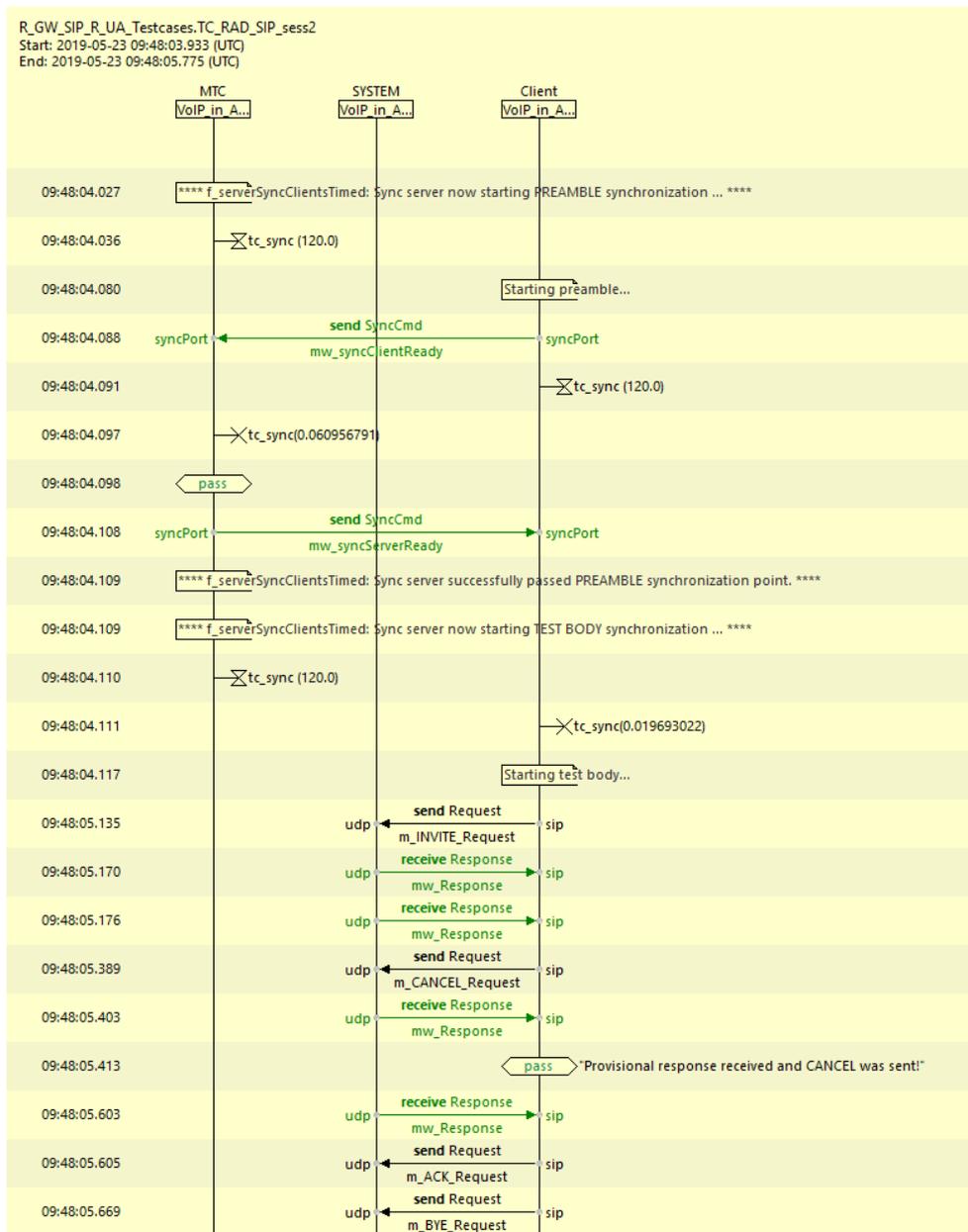


Figura L.1 - Output TC\_RAD\_SIP\_sess1 (transmissor)

• Transmissor: TC\_RAD\_SIP\_sess2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**  
 SIP Session request and Cancel: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester then sends an immediate CANCEL to this request. Tester verifies that GRS accepts that the request has been cancelled by responding with the error response code 487 Request Terminated and verifies that no SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**  
 ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.3 3.4.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

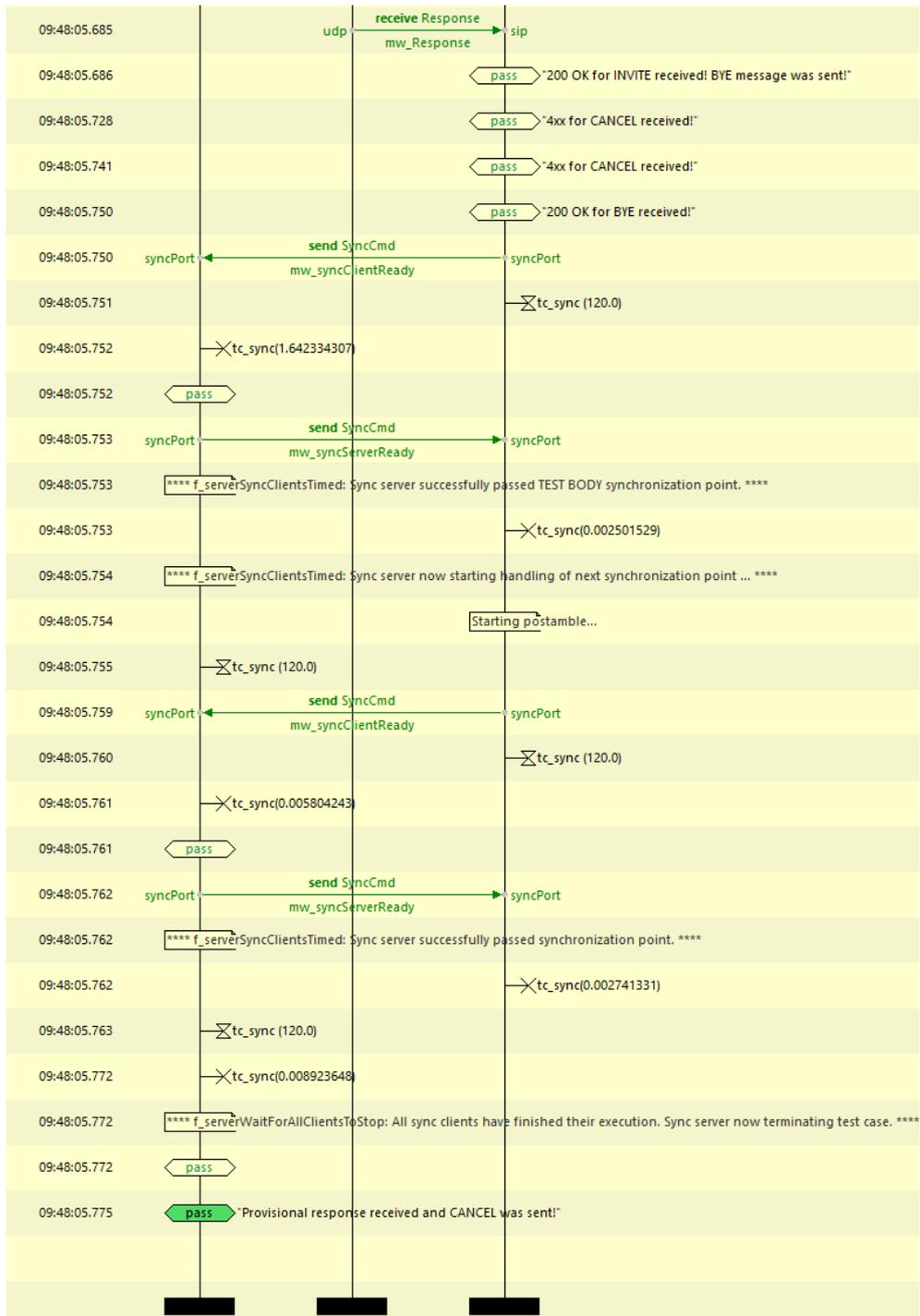


Figura L.2 - Output TC\_RAD\_SIP\_sess2 (transmissor)

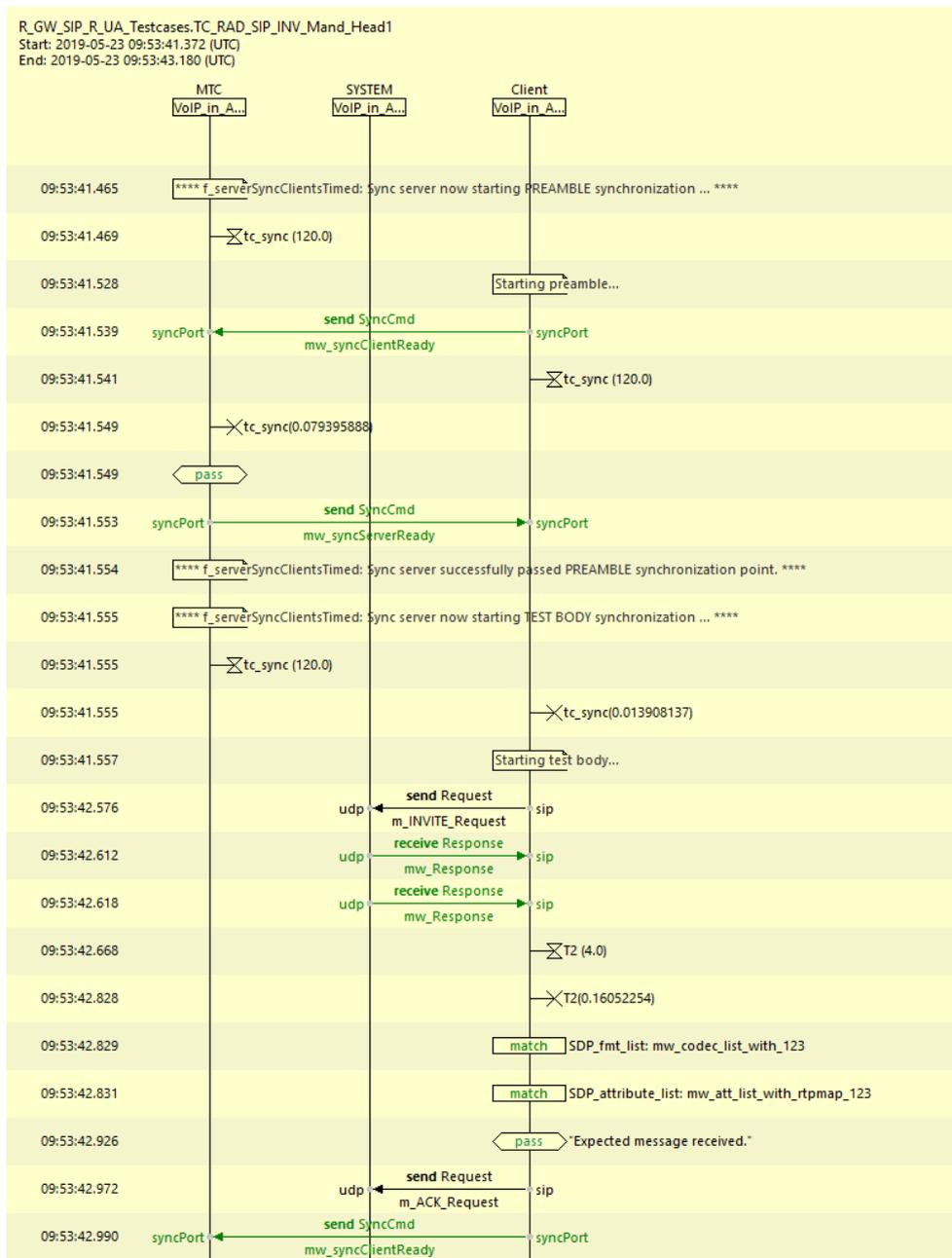
• Transmissor: TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory Priority Header "Normal" Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS containing a mandatory Priority header field value set to "normal". Tester verifies that GRS responds with 200OK containing correct Mandatory and Optional headers. Tester then responds with an ACK and verifies that SIP Radio session is established

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.1, 3.5.2.4



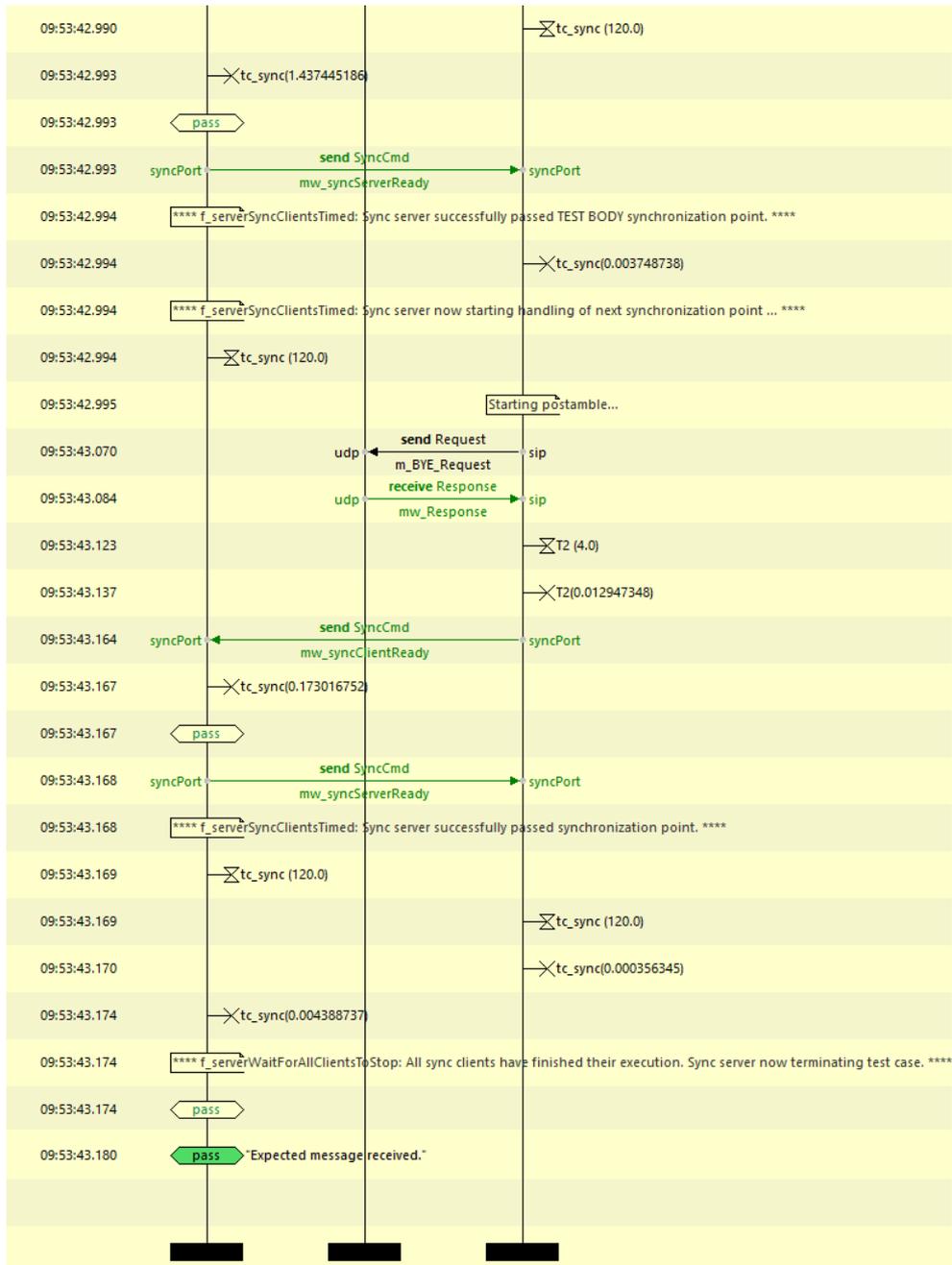


Figura L.3 - Output TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head1 (transmissor)

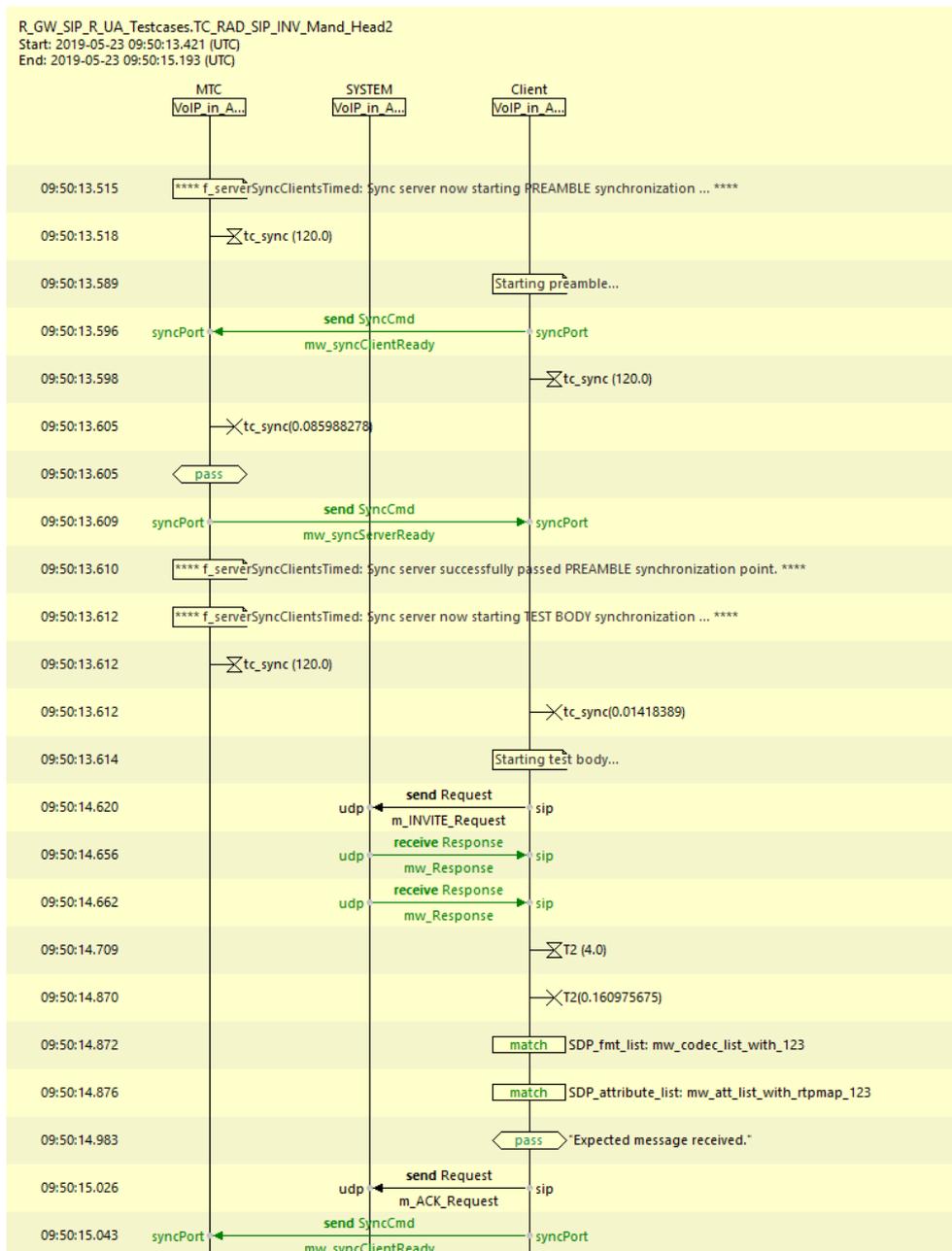
• Transmissor: TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory Priority Header "Emergency" Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS containing a mandatory Priority header field value set to "emergency". Tester verifies that GRS responds with 200OK containing correct Mandatory and Optional headers. Tester then responds with an ACK and verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.1, 3.5.2.4



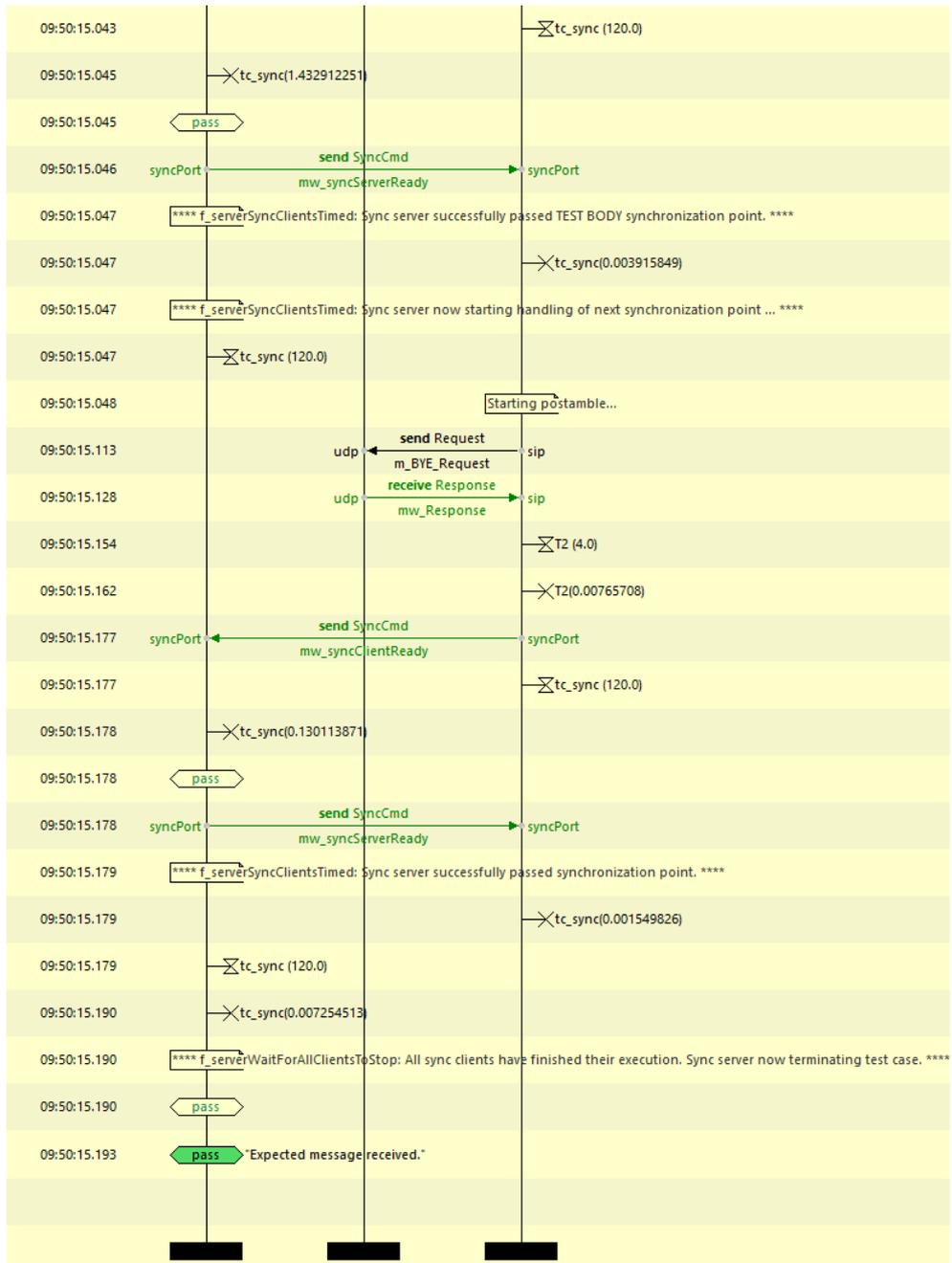


Figura L.4 - Output TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head2 (transmissor)

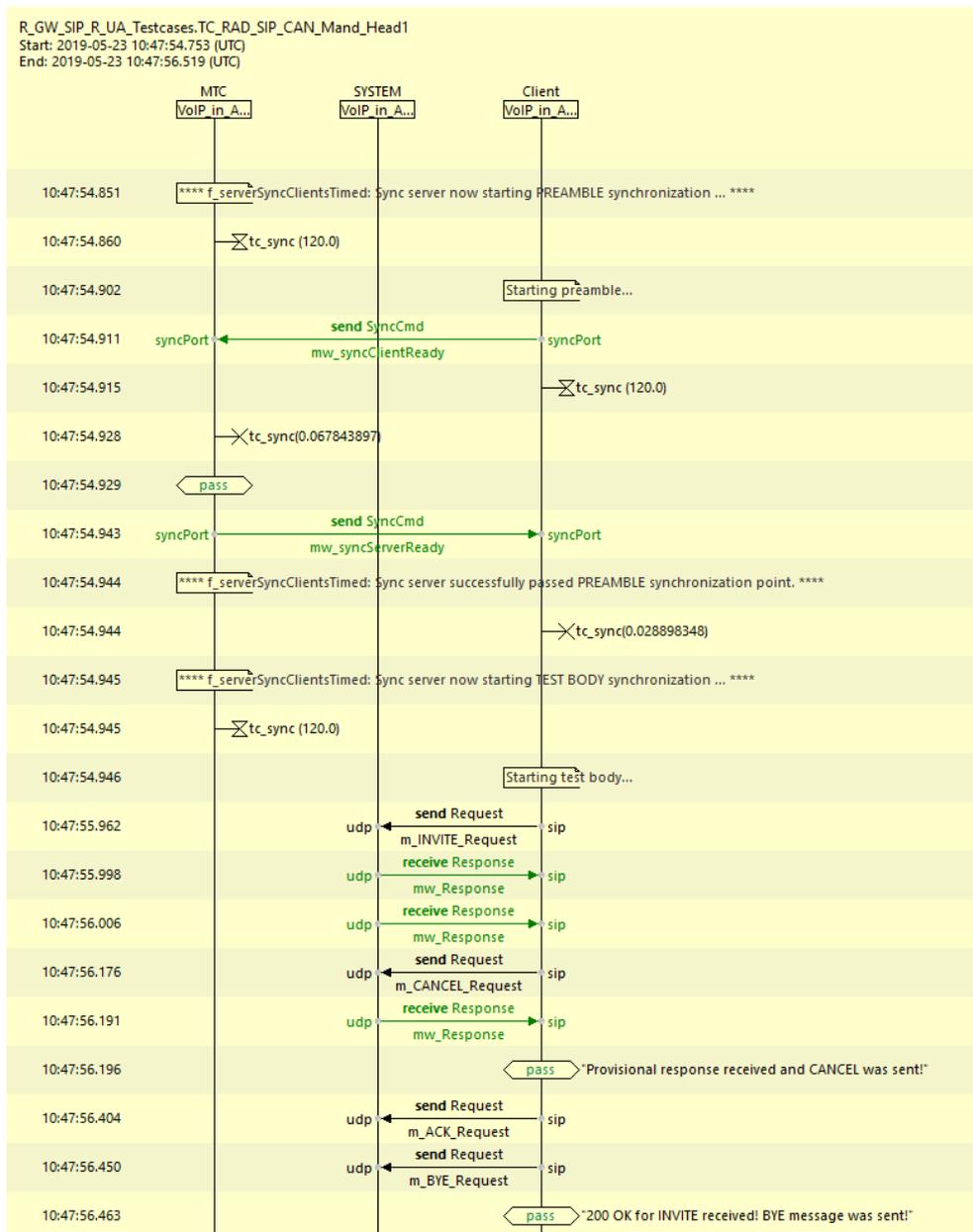
• Transmissor: TC\_RAD\_SIP\_CAN\_Mand\_Head1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory headers for CANCEL: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester then sends an immediate CANCEL to this request containing all mandatory header fields for a CANCEL request. Tester verifies that GRS accepts that the INVITE request has been cancelled by responding with the error response code 487 Request Terminated and verifies that no SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.3 3.4.4, 3.5.1



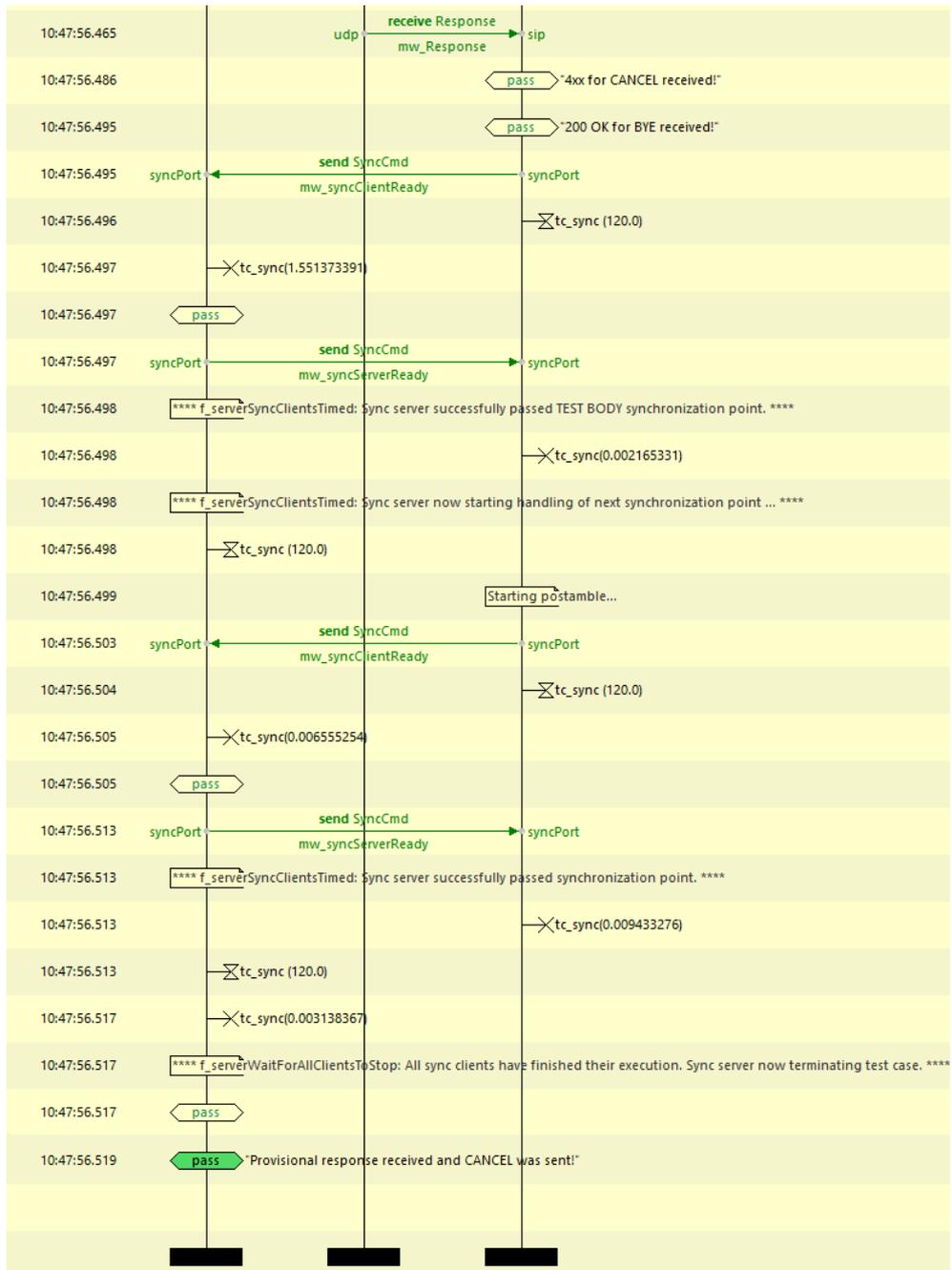


Figura L.5 - Output TC\_RAD\_SIP\_CAN\_Mand\_Head1 (transmissor)

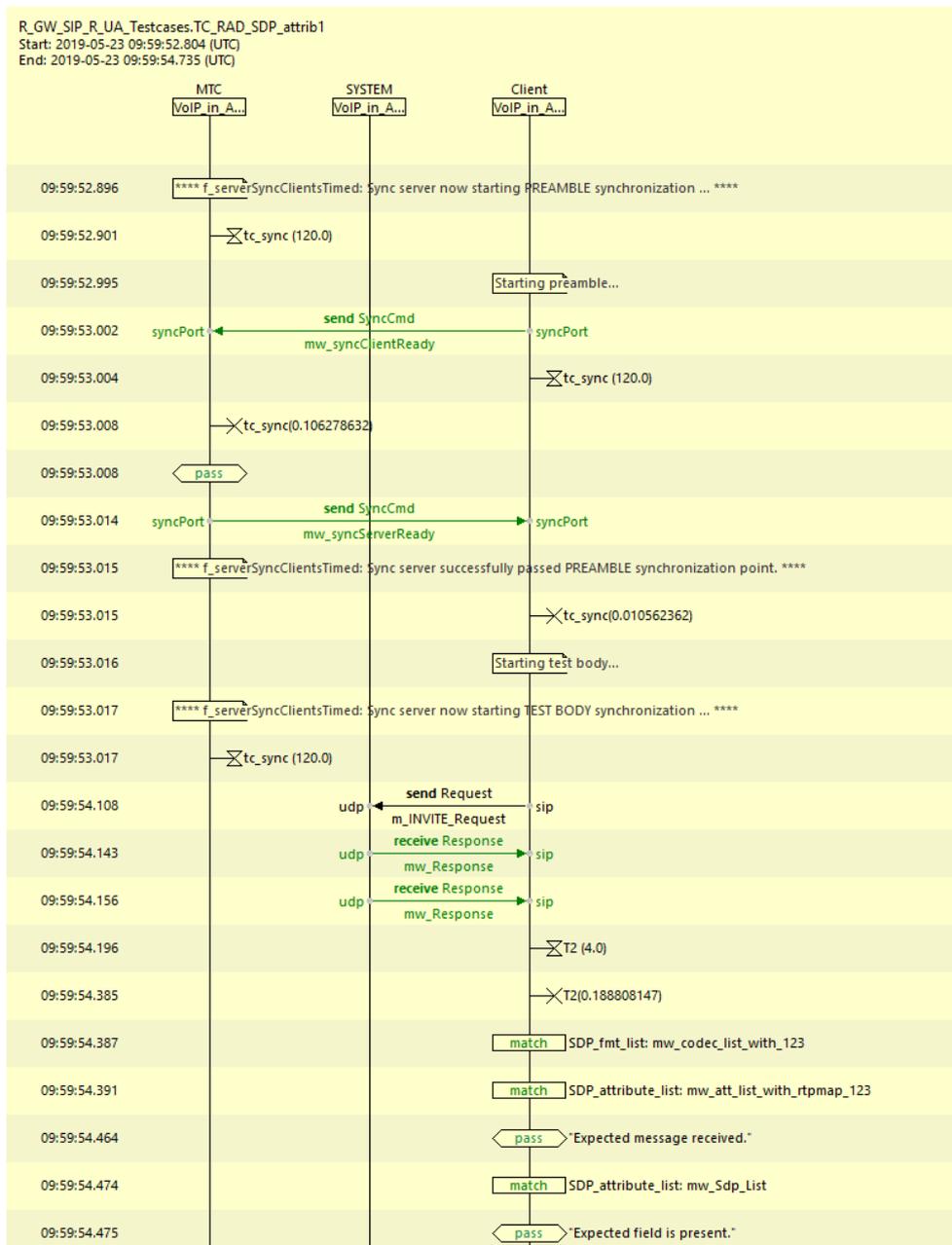
• Transmissor: TC\_RAD\_SDP\_attrib1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Send-recv-mode attribute: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP session to the GRS containing an SDP message body with attribute appropriate for set to sendrecv.a=sendrecv With GRS pre-configured to accept sendrecv. Tester verifies that 200OK response contains SDP message body accepting the sendrecv attribute. a=sendrecv.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.2, 6.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

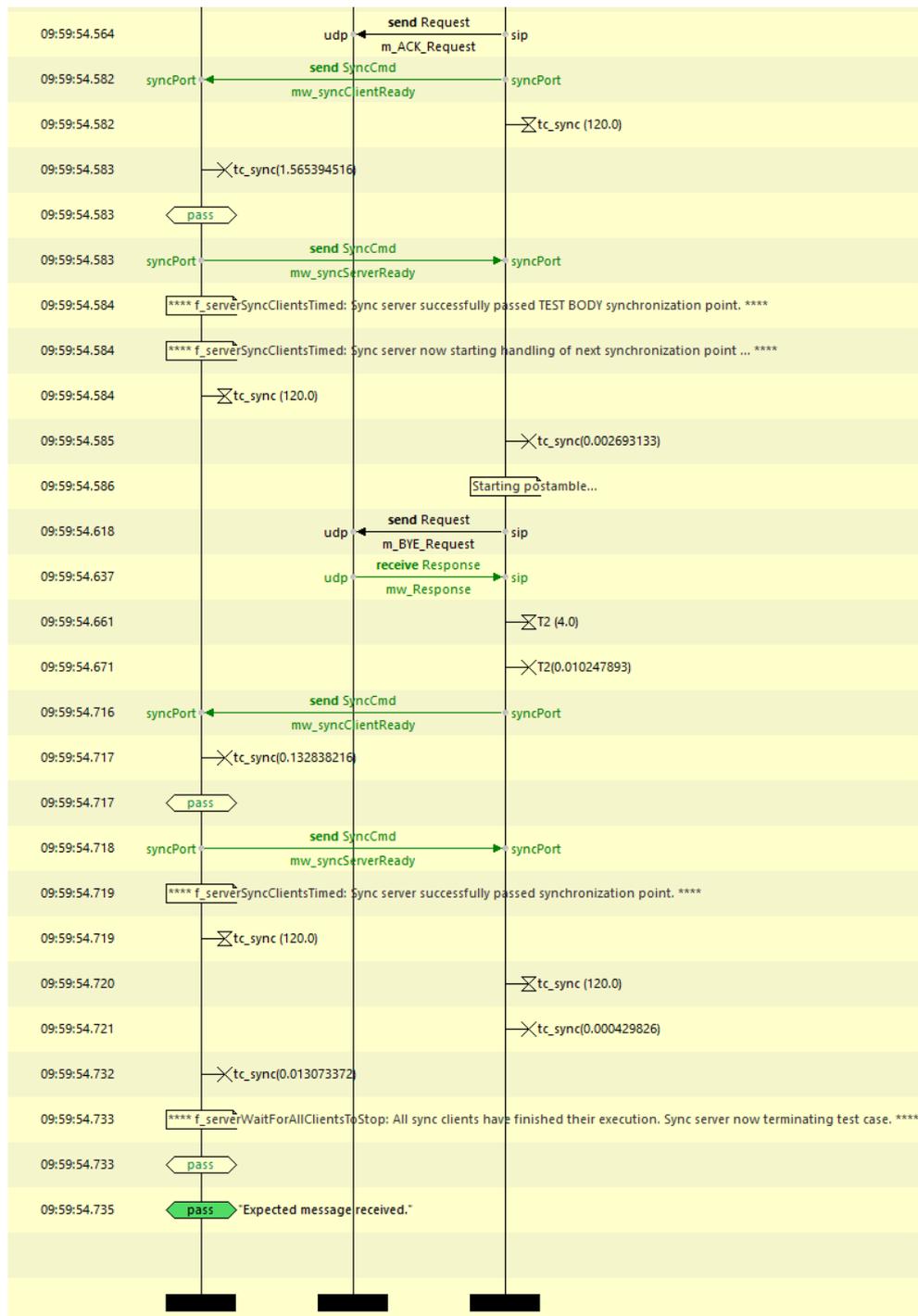


Figura L.6 - Output TC\_RAD\_SDP\_attrib1 (transmissor)

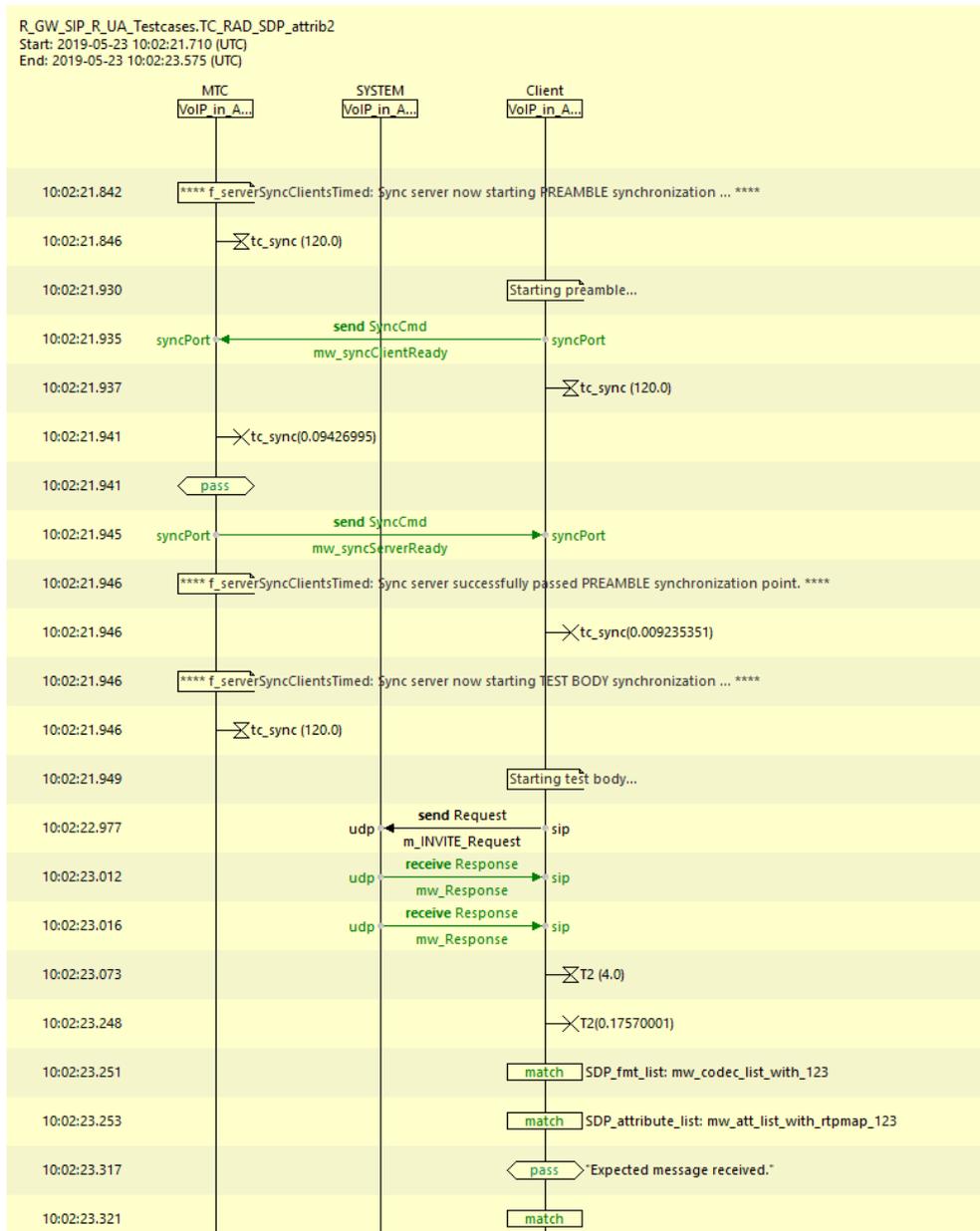
• Transmissor: TC\_RAD\_SDP\_attrib2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

G.711 PCM A-law codec attribute Tester sends INVITE to request establishment of a SIP session to the GRS containing an SDP message body with default (in Europe only) media description and optional rtpmap attribute appropriate for audio codec G.711 PCM A-law and R2S payload types. m=audio5004 RTP/AVP 8 123 a=rtpmap:8 pcma/8000 a=rtpmap:123 R2S/8000 With GRS pre-configured to use both G.711 PCM A-law and R2S payload types, the Tester verifies that 200OK response contains SDP message body accepting the G.711 PCM A-law and R2S payload types.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.3



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

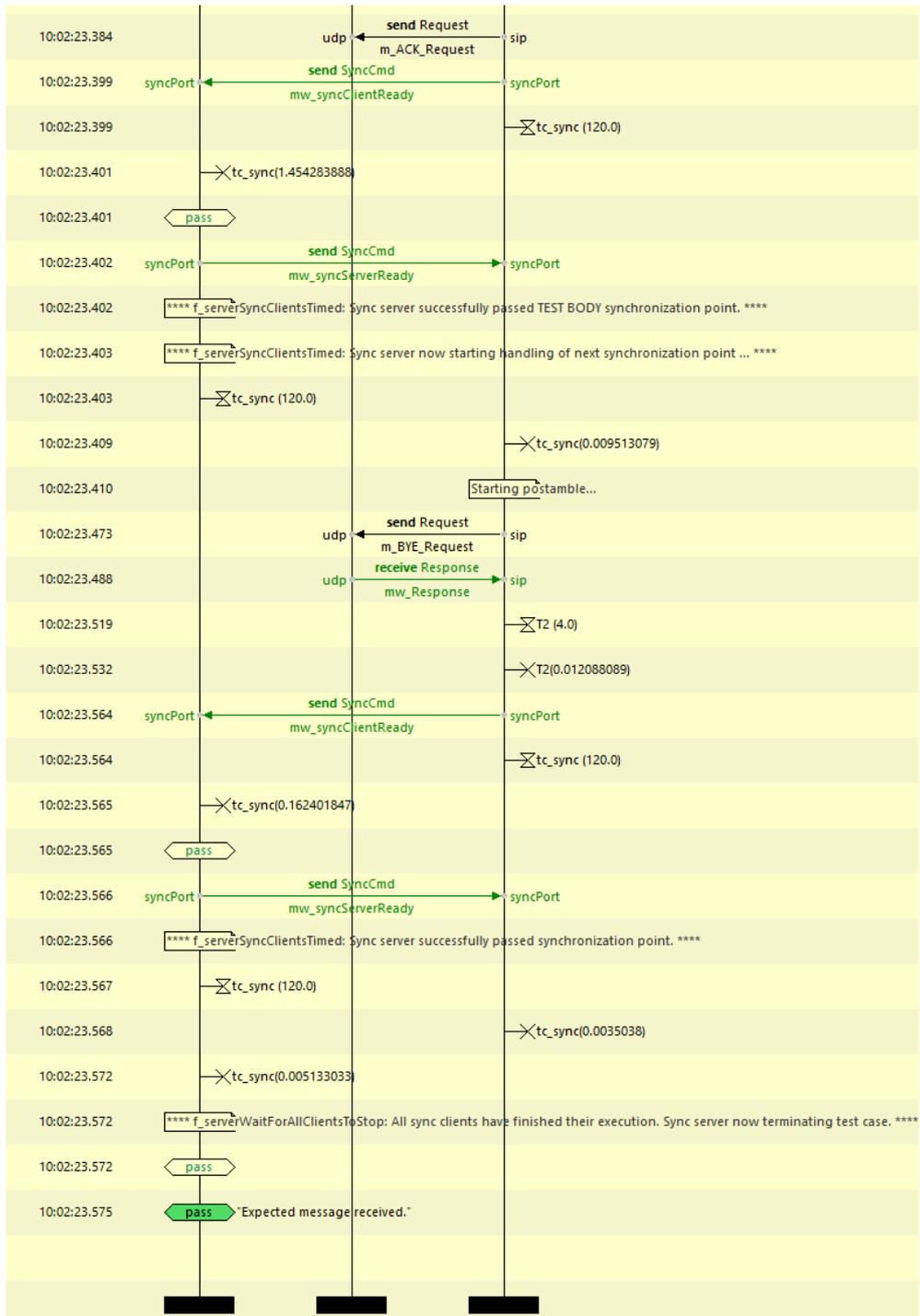


Figura L.7 - Output TC\_RAD\_SDP\_attrib2 (transmissor)

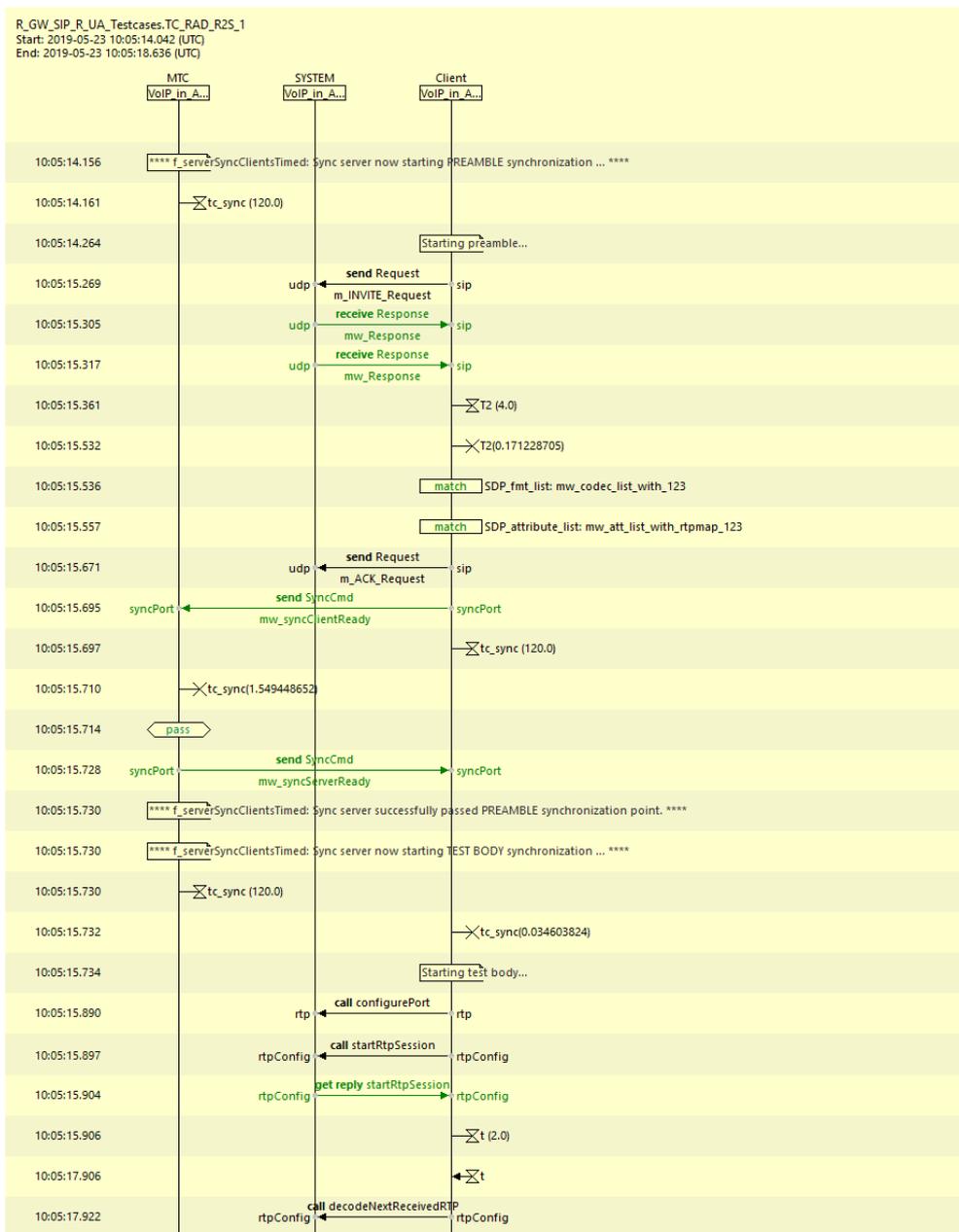
• Transmissor: TC\_RAD\_R2S\_1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

R2S-KeepAlive Packet exchange: Tester establishes a SIP session to the GRS. The Tester sends R2S-Keepalive packets at theR2SKeepAlivePeriod to the GRS with PT3 and an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at theR2S-KeepAlivePeriod from the GRS with PT3 with an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



# Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

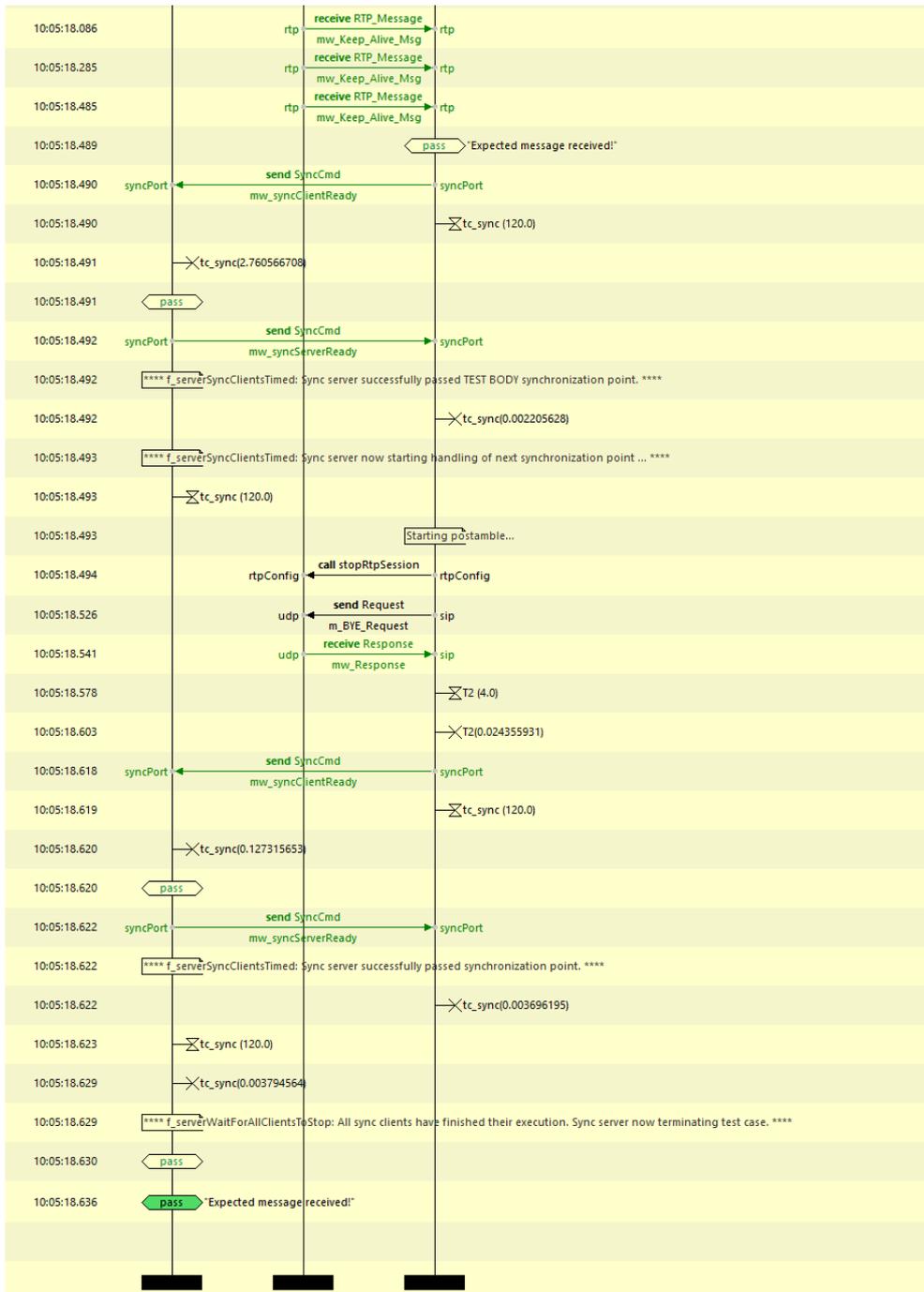


Figura L.8 - Output TC\_RAD\_R2S\_1 (transmissor)

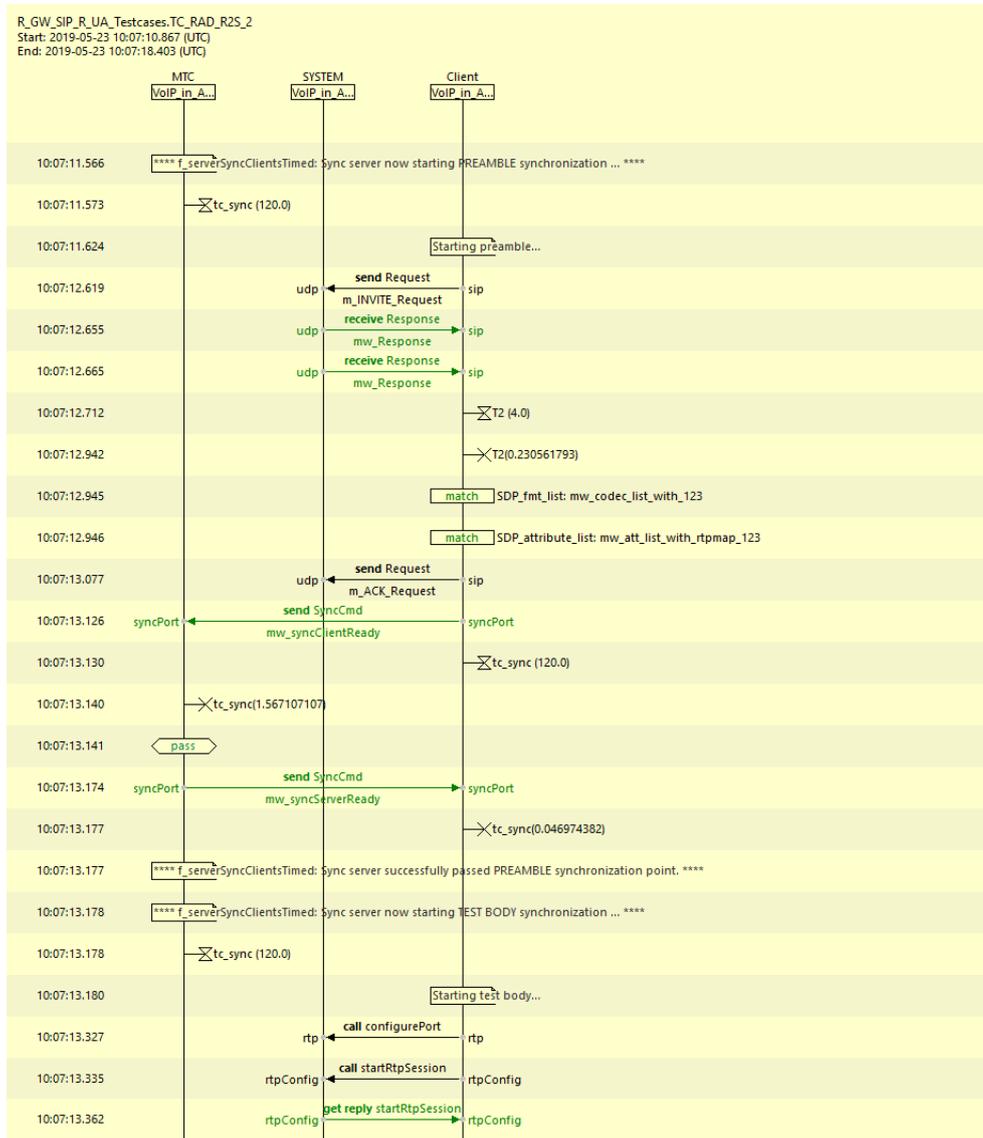
• Transmissor: TC\_RAD\_R2S\_2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

GRS LocalHoldTime Expiry: Tester establishes a SIP session to the GRS. The Tester sends R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the GRS. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at the R2S-KeepAlivePeriod from the GRS. The Tester stops sending R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the GRS. The Tester verifies that after a period equal to the configuredR2SLocalHoldTime, the GRS sends a BYE message to terminate the session containing a WG67 reason cause 01 (missing R2SKeepAlive). Note: R2S-LocalHoldTime= R2S-KeepAlivePeriod xR2S-KeepAliveMultiplier

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



# Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

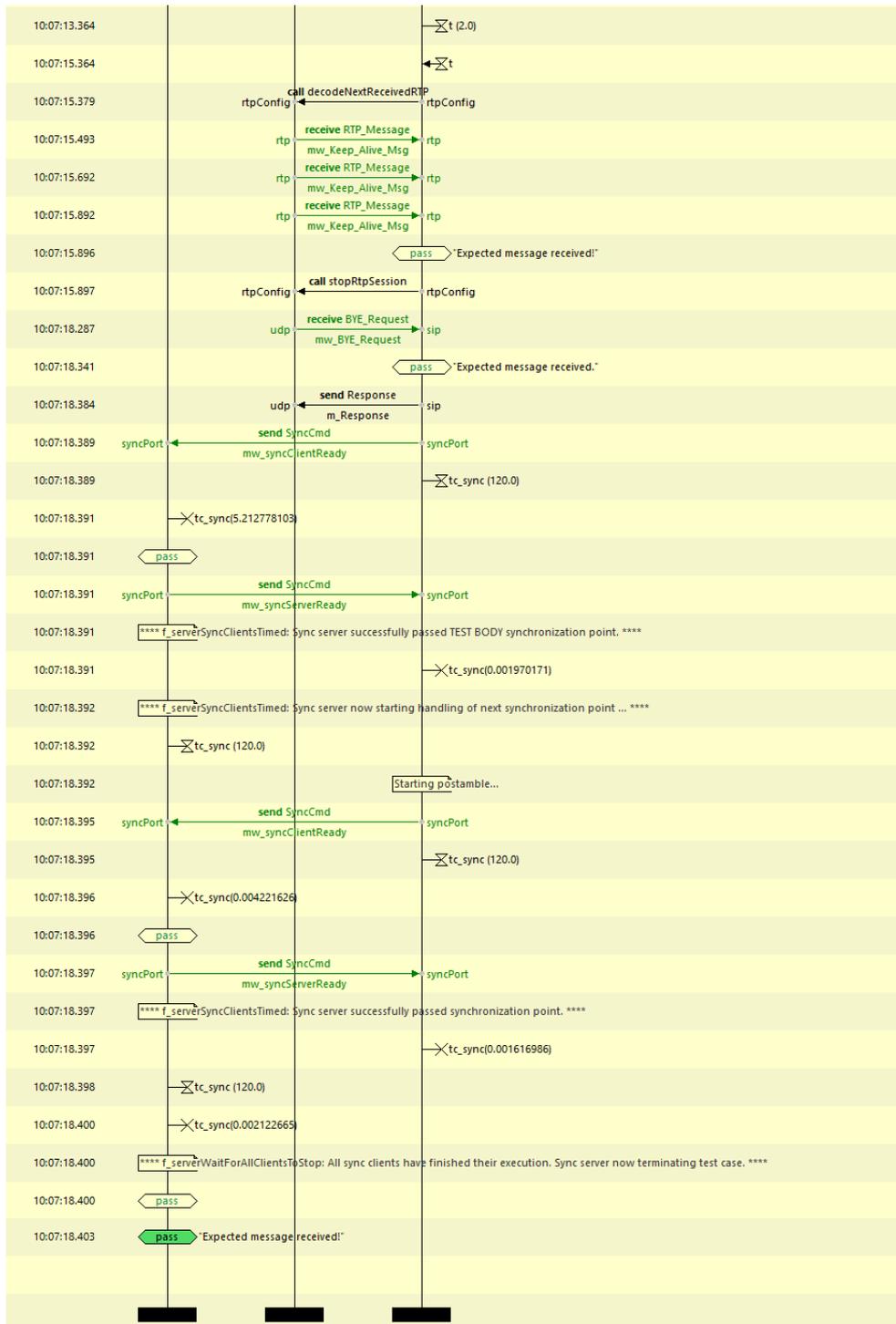


Figura L.9 - Output TC\_RAD\_R2S\_2 (transmissor)

## L.2 – Resultados com GRS Recetor

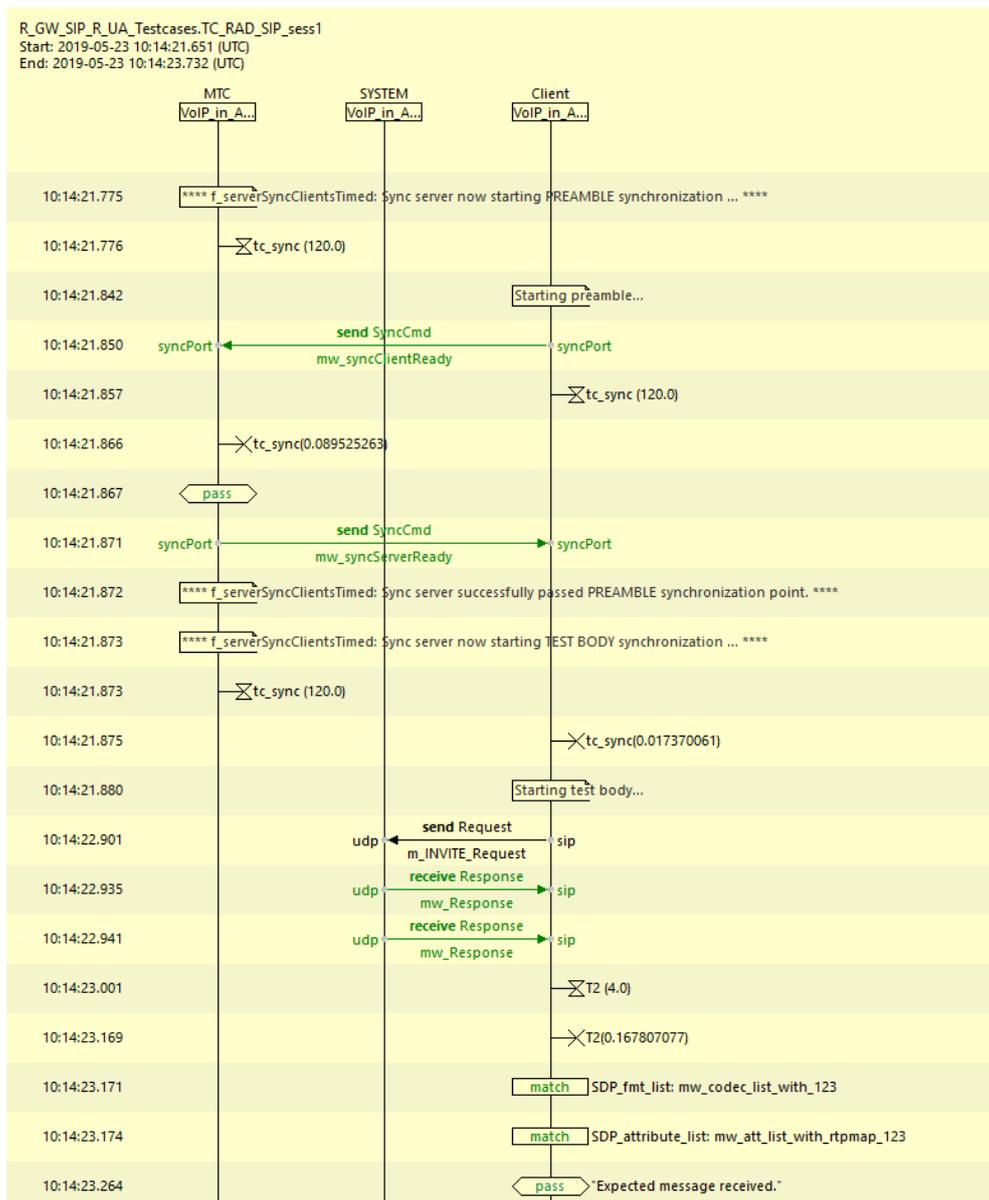
- Recetor: TC\_RAD\_SIP\_sess1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

SIP session establishment: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester verifies that GRS responds with a 200OK before it responds with an ACK and SIP Radio session is established. Tester should verify that GRS responds automatically with a 200OK final response. Note: Test case should allow an optional 180Ringing response to be received from GRS prior to a 200OK.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.2, 3.4.1.2, 3.4.2.1



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

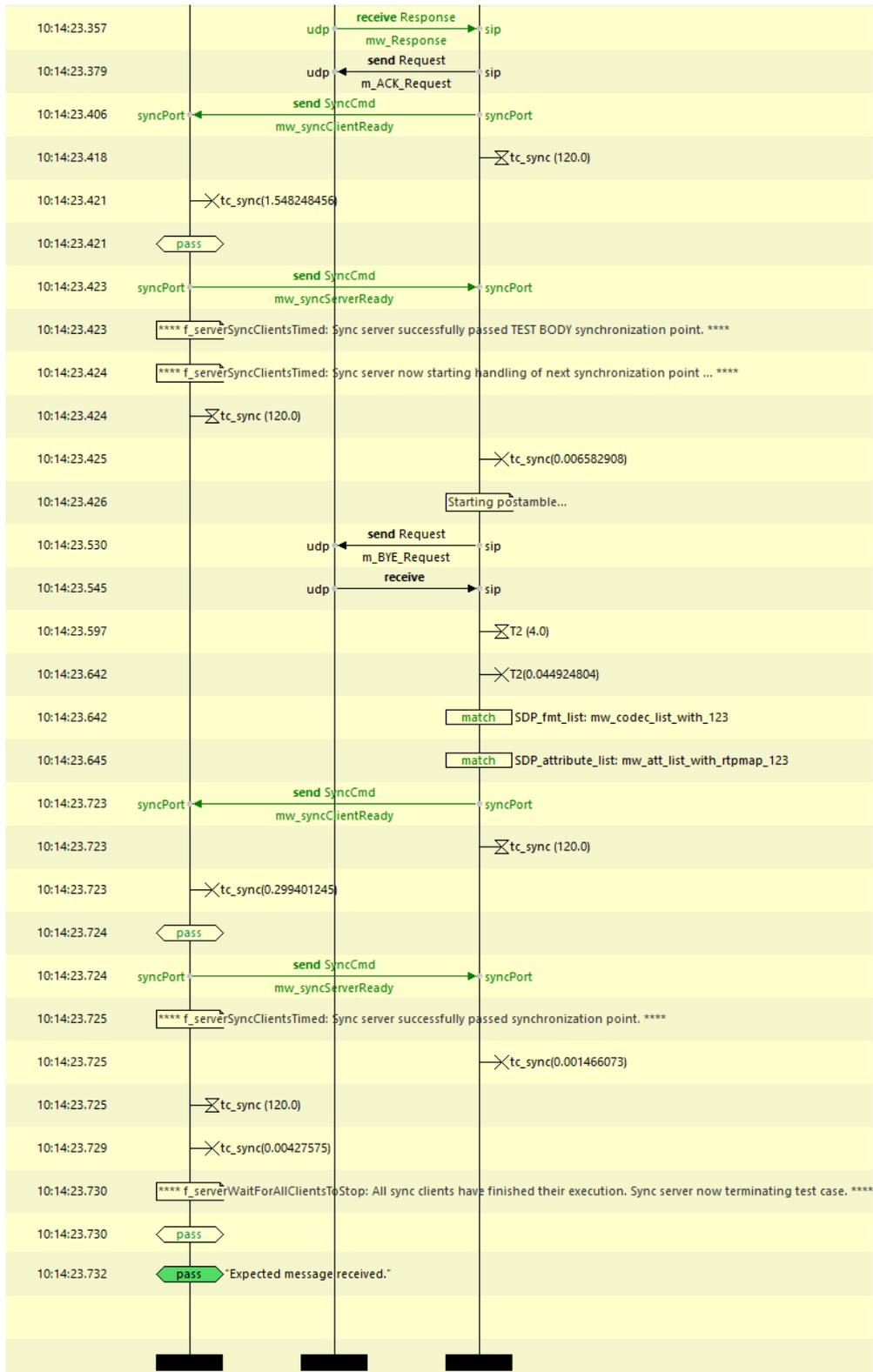


Figura L.10 - Output TC\_RAD\_SIP\_sess1 (recetor)

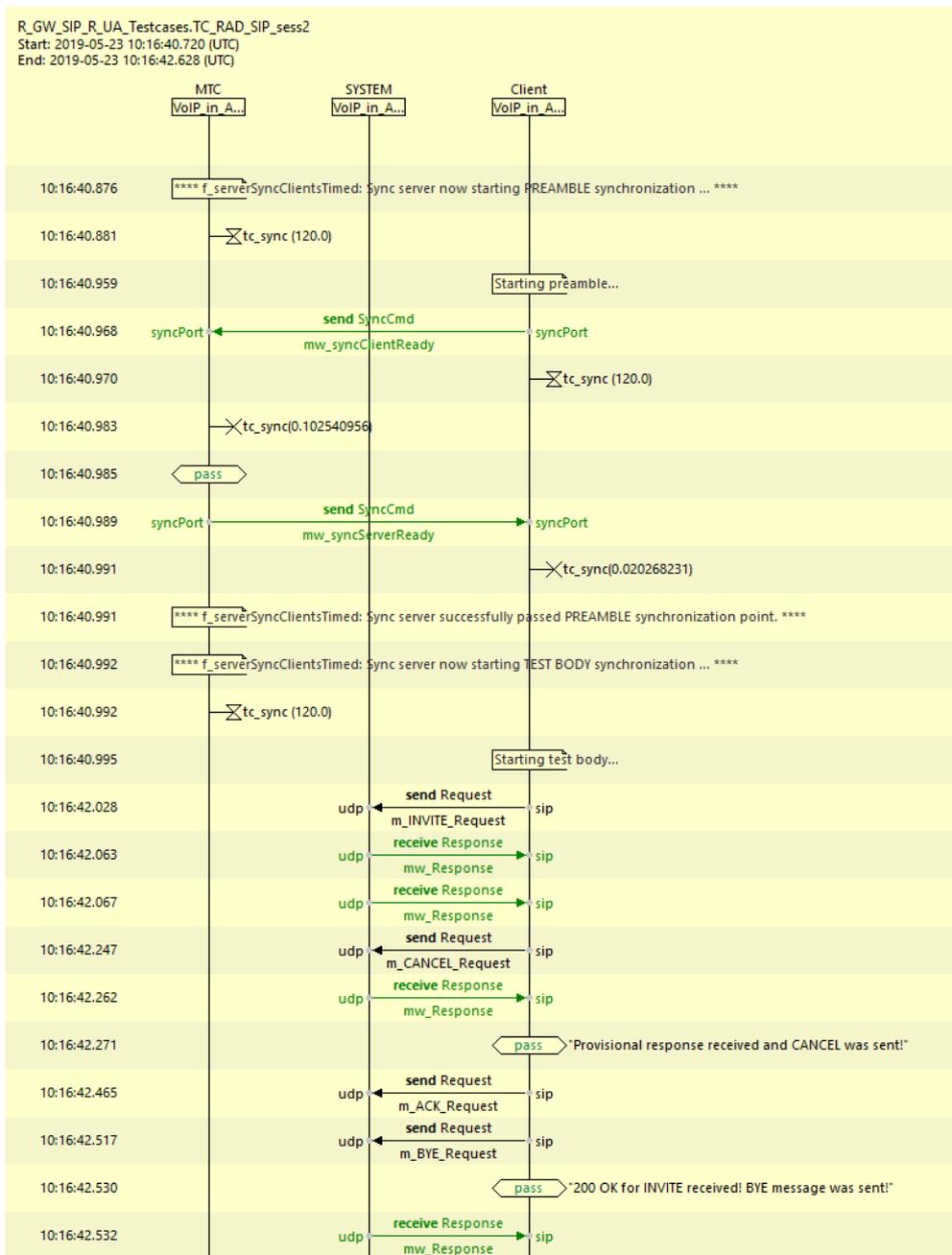
• Recetor: TC\_RAD\_SIP\_sess2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

SIP Session request and Cancel: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester then sends an immediate CANCEL to this request. Tester verifies that GRS accepts that the request has been cancelled by responding with the error response code 487 Request Terminated and verifies that no SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.3 3.4.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

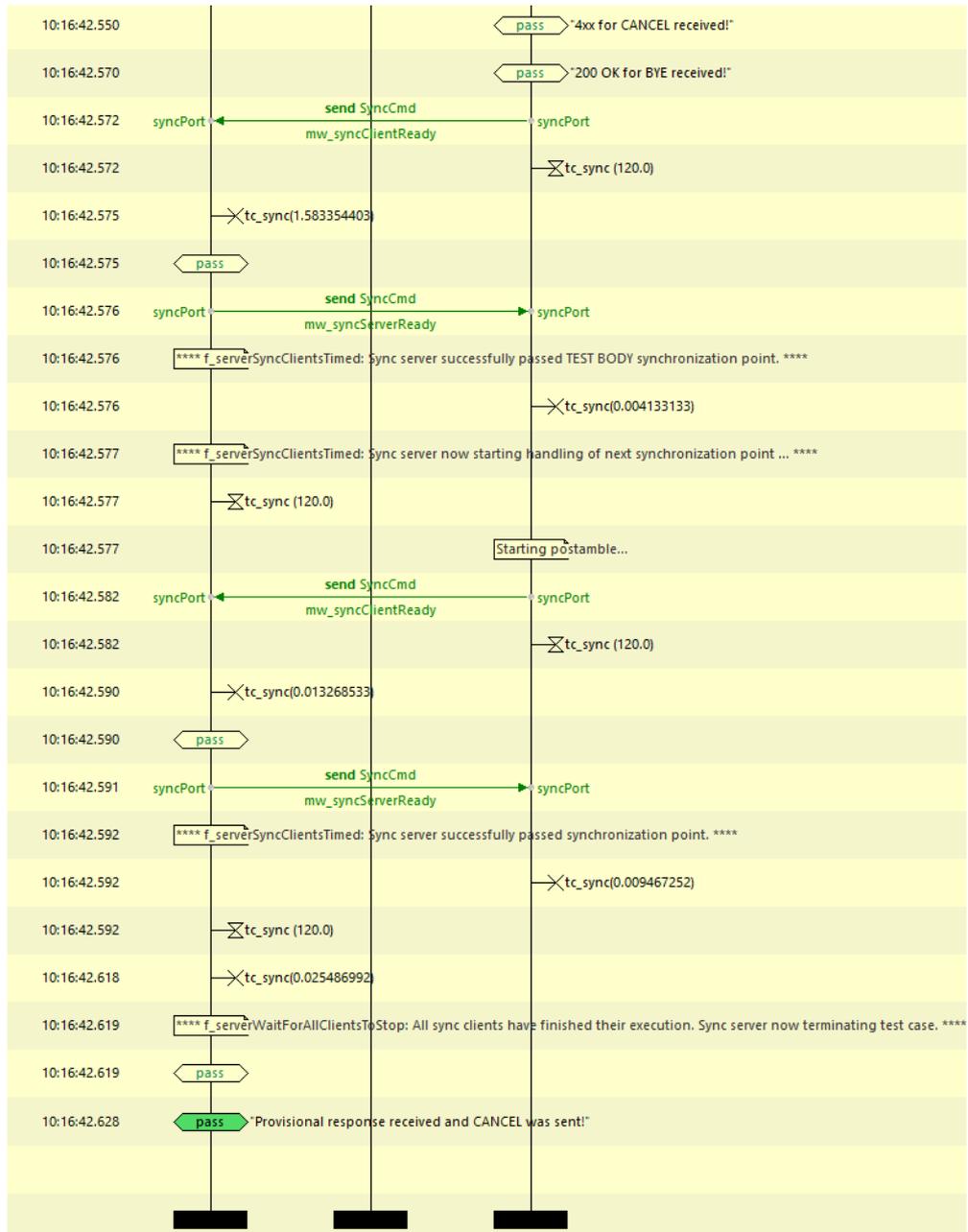


Figura L.11 - Output TC\_RAD\_SIP\_sess2 (recetor)

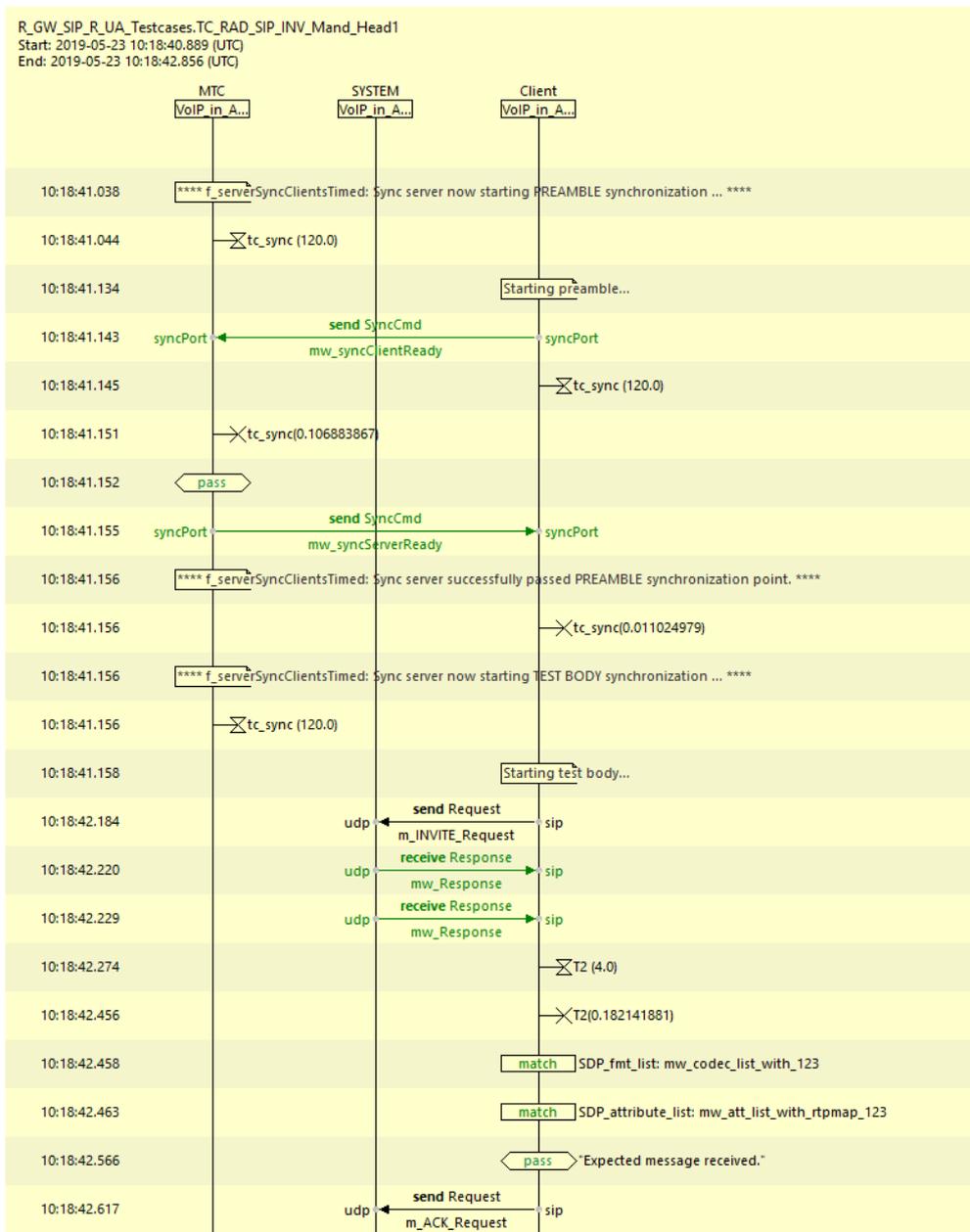
• Recetor: TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory Priority Header "Normal" Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS containing a mandatory Priority header field value set to "normal". Tester verifies that GRS responds with 200OK containing correct Mandatory and Optional headers. Tester then responds with an ACK and verifies that SIP Radio session is established

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.1, 3.5.2.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

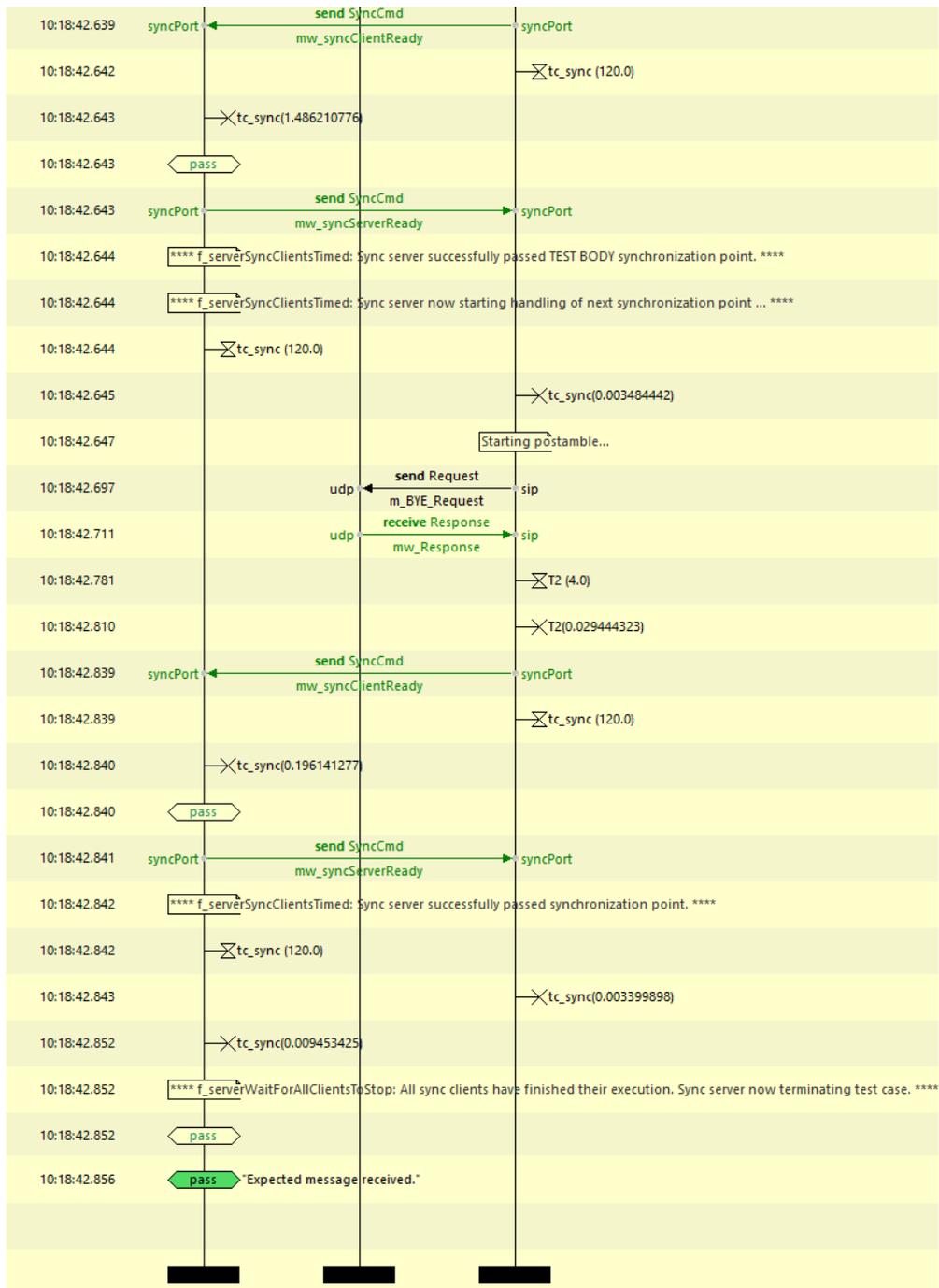


Figura L.12 - Output TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head1 (recetor)

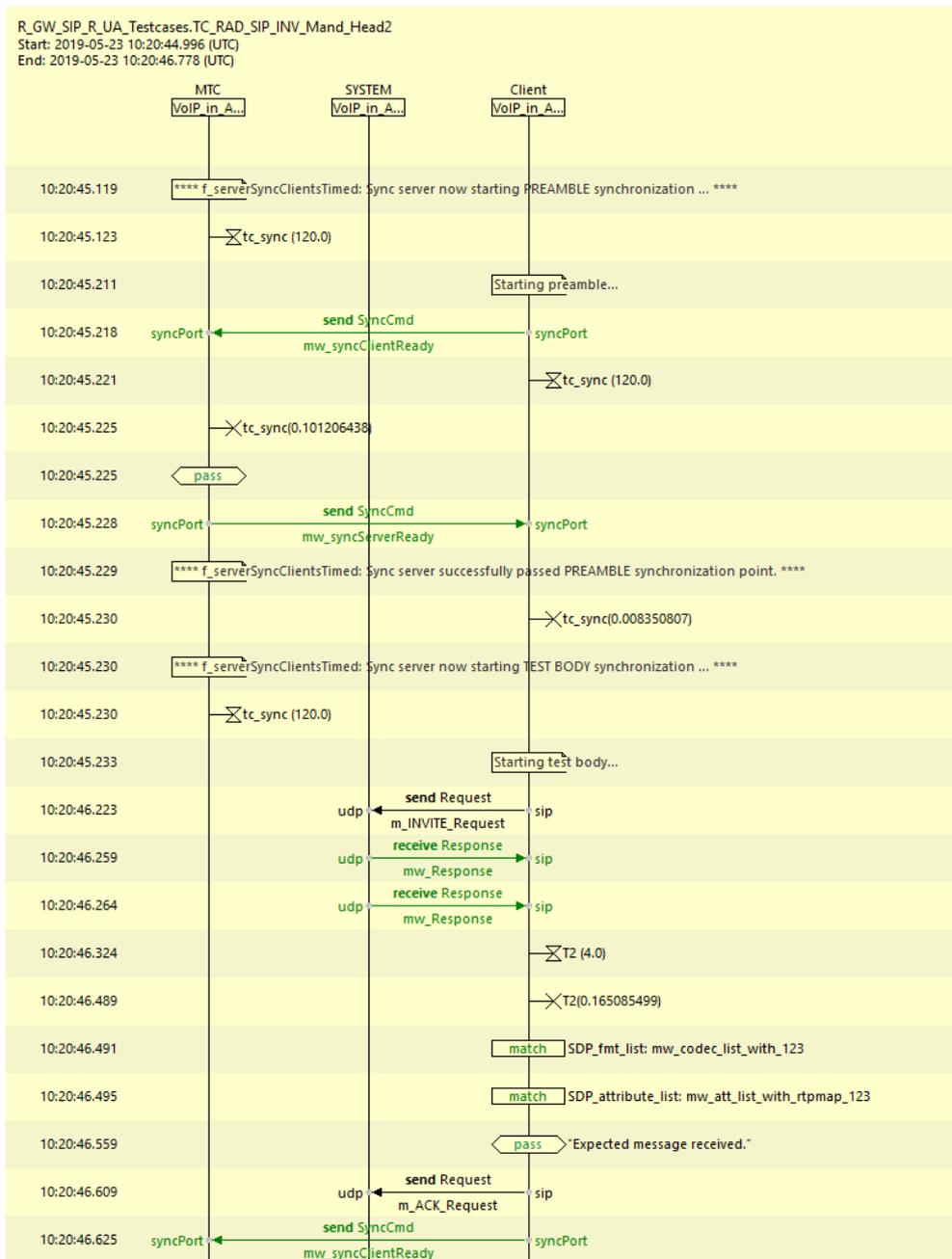
• Recetor: TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory Priority Header "Emergency" Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS containing a mandatory Priority header field value set to "emergency". Tester verifies that GRS responds with 200OK containing correct Mandatory and Optional headers. Tester then responds with an ACK and verifies that SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.5.1, 3.5.2.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

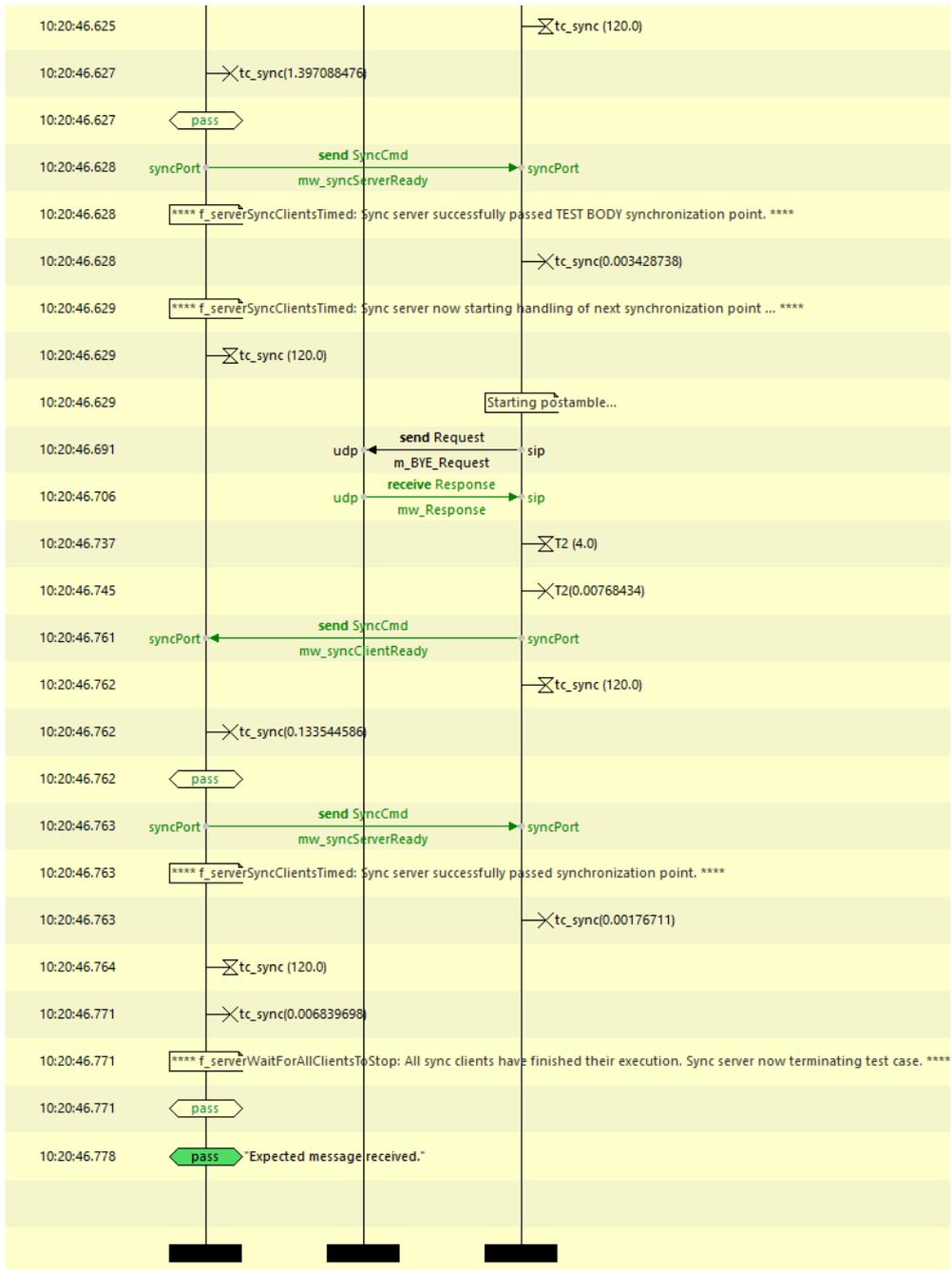


Figura L.13 - Output TC\_RAD\_SIP\_INV\_Mand\_Head2 (recetor)

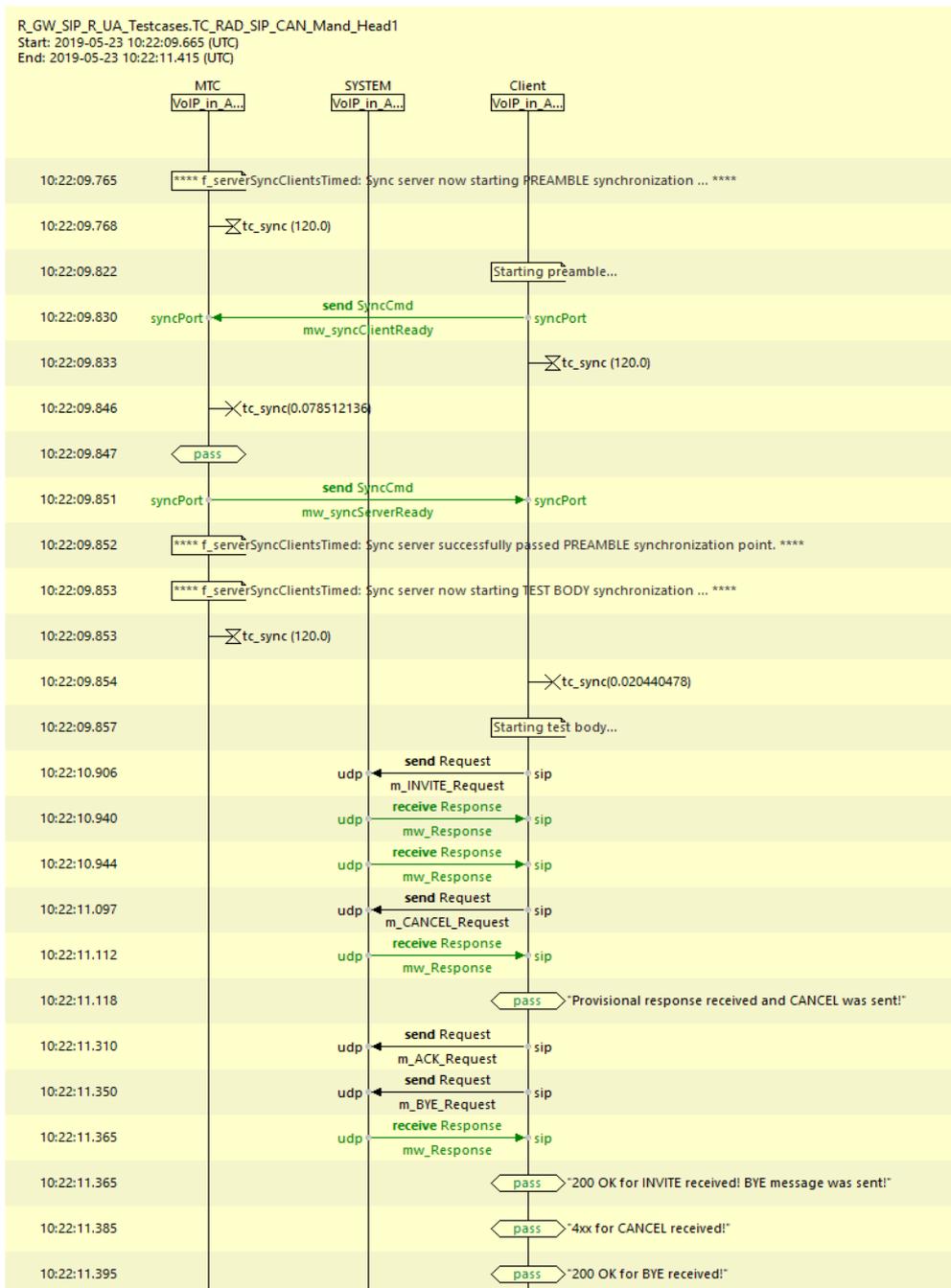
• **Recetor: TC\_RAD\_SIP\_CAN\_Mand\_Head1**

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Mandatory headers for CANCEL: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP Radio session to the GRS. Tester then sends an immediate CANCEL to this request containing all mandatory header fields for a CANCEL request. Tester verifies that GRS accepts that the INVITE request has been cancelled by responding with the error response code 487 Request Terminated and verifies that no SIP Radio session is established.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.3, 3.3.1, 3.3.3 3.4.4, 3.5.1



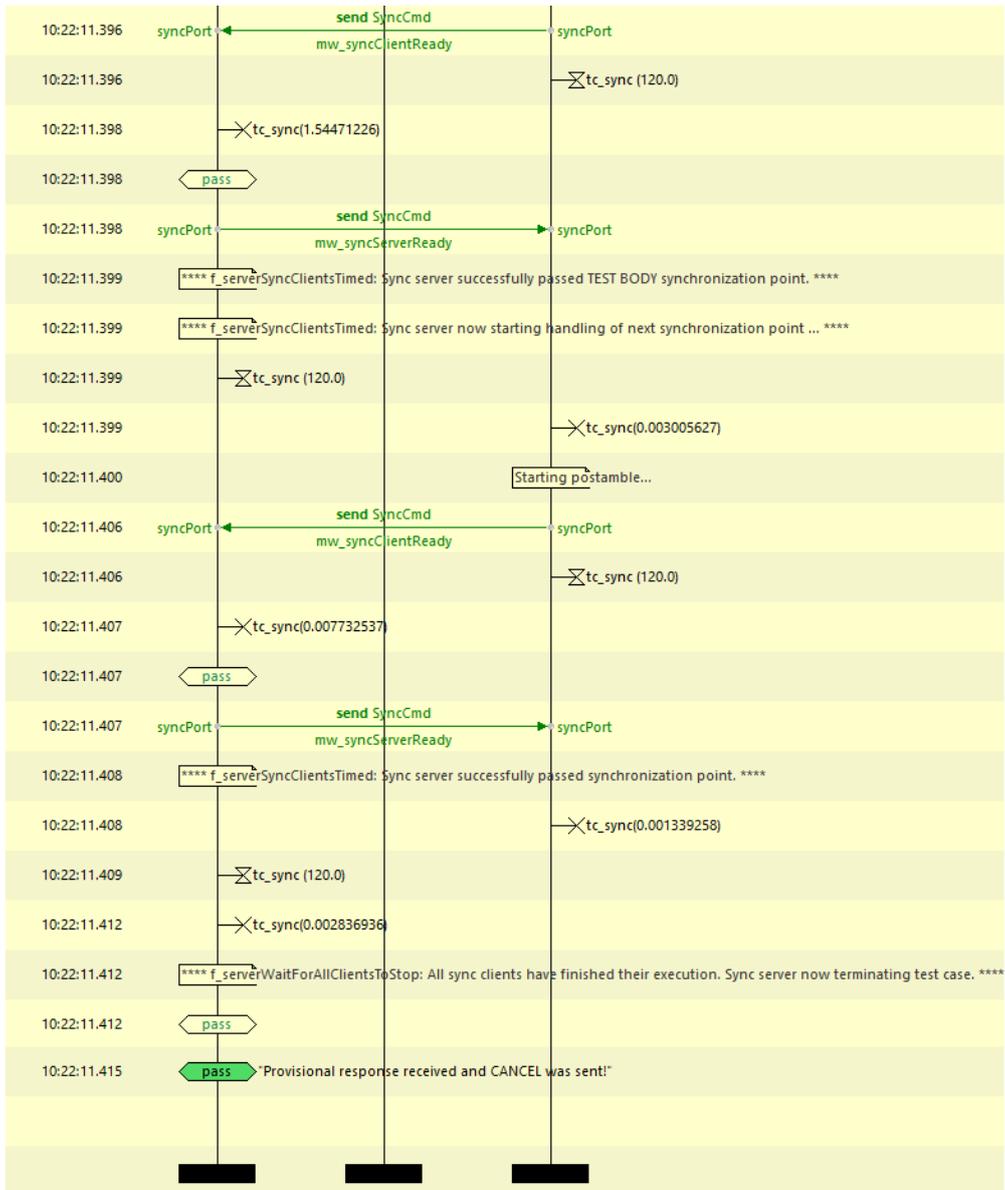


Figura L.14 - Output TC\_RAD\_SIP\_CAN\_Mand\_Head1 (receptor)

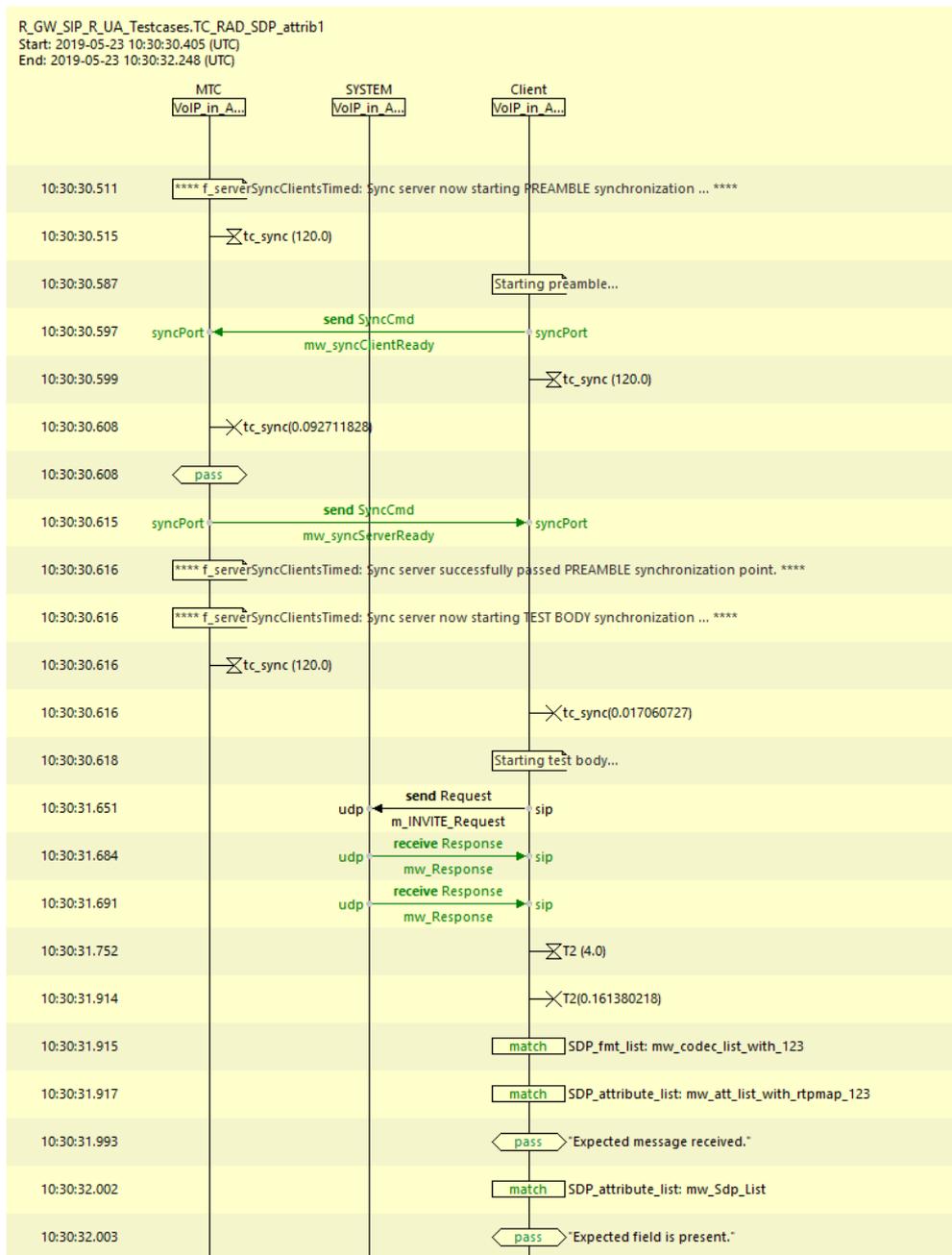
• **Recetor: TC\_RAD\_SDP\_attrib1**

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

Send-recv-mode attribute: Tester sends INVITE to request establishment of a SIP session to the GRS containing an SDP message body with attribute appropriate for set to sendrecv.a=sendrecv With GRS pre-configured to accept sendrecv. Tester verifies that 200OK response contains SDP message body accepting the sendrecv attribute. a=sendrecv.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.2, 6.4



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

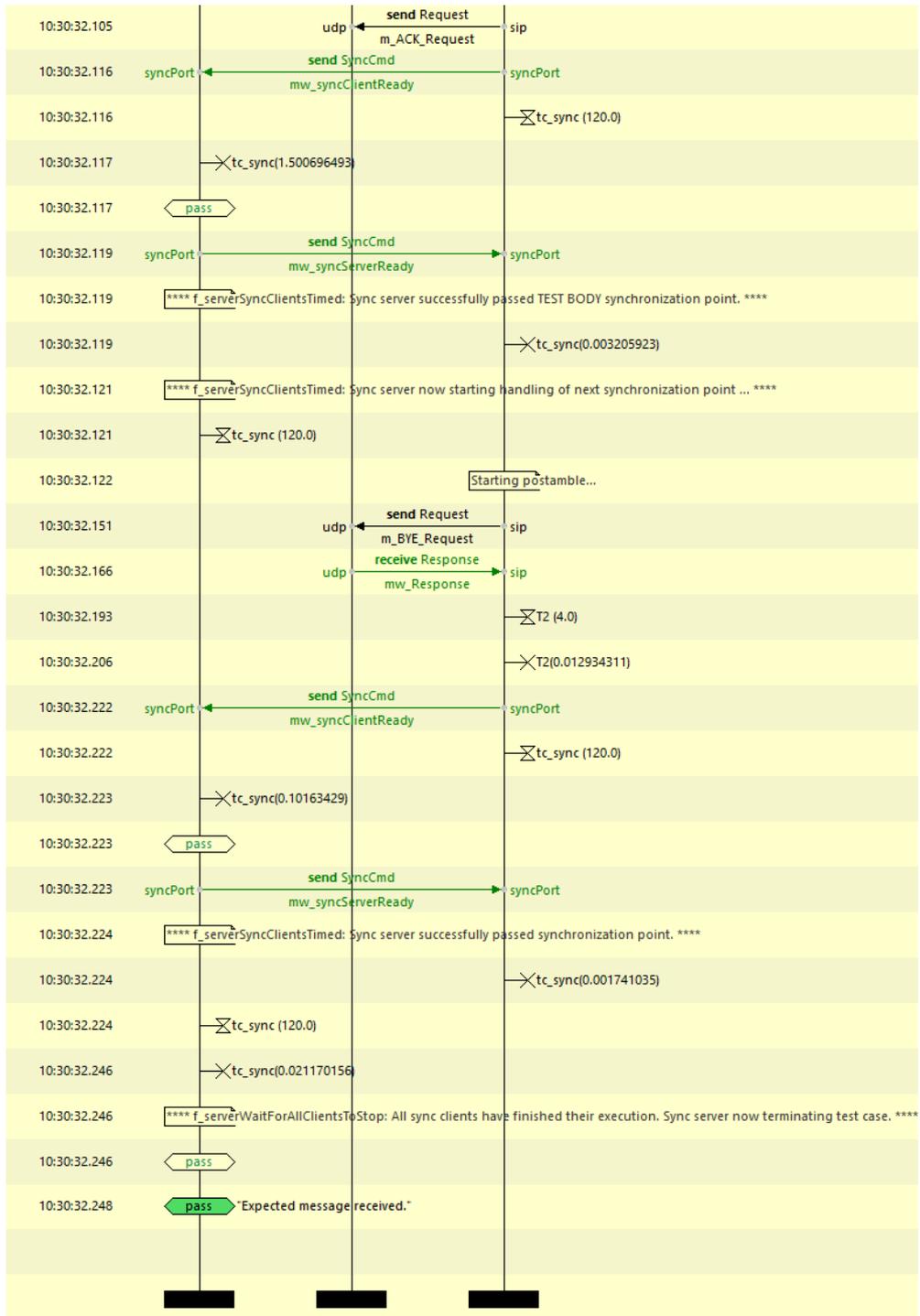


Figura L.15 - Output TC\_RAD\_SDP\_attri1 (recetor)

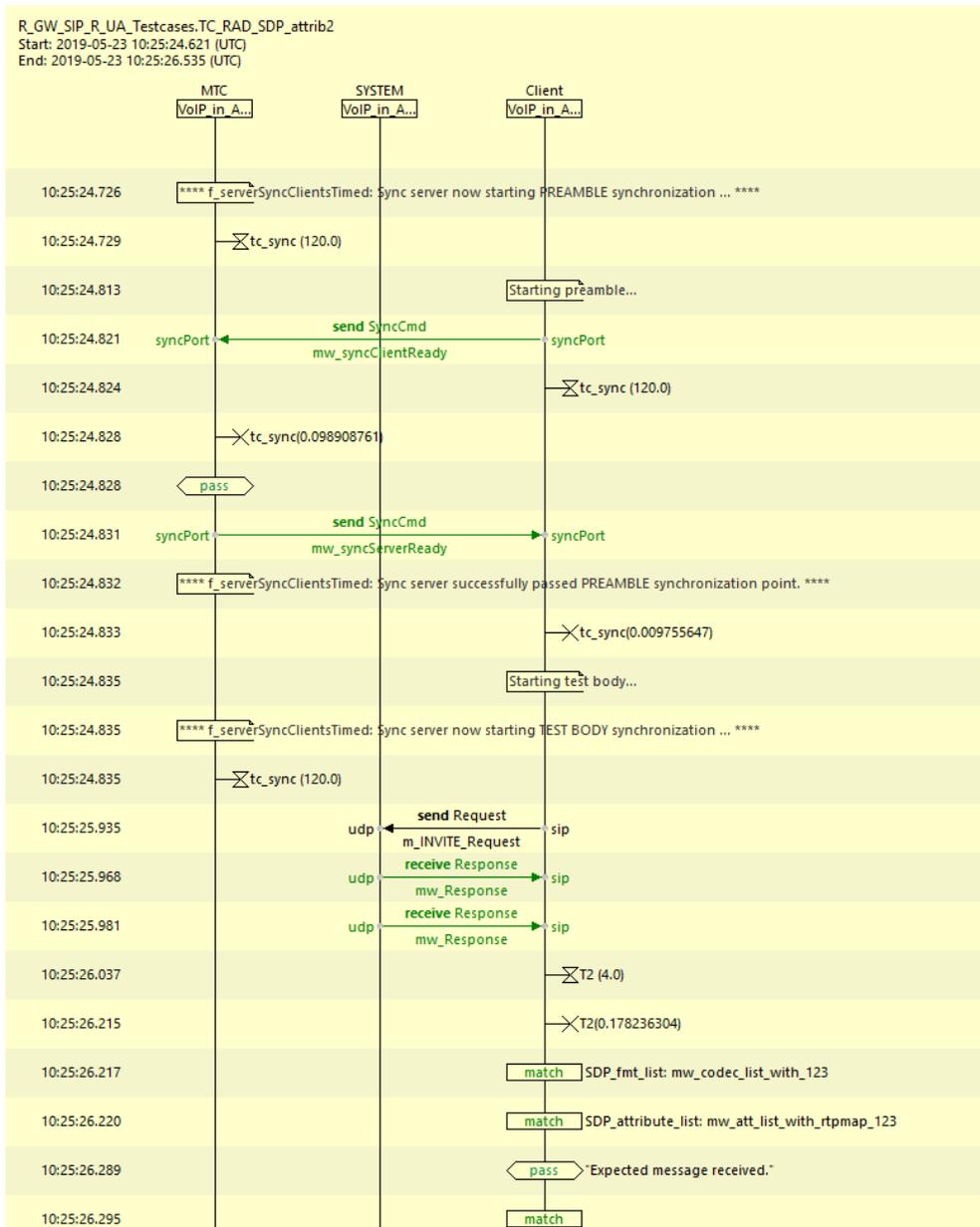
• Recetor: TC\_RAD\_SDP\_attrib2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

G.711 PCM A-law codec attribute Tester sends INVITE to request establishment of a SIP session to the GRS containing an SDP message body with default (in Europe only) media description and optional rtpmap attribute appropriate for audio codec G.711 PCM A-law and R2S payload types. m=audio5004 RTP/AVP 8 123 a=rtpmap:8 pcma/8000 a=rtpmap:123 R2S/8000 With GRS pre-configured to use both G.711 PCM A-law and R2S payload types, the Tester verifies that 200OK response contains SDP message body accepting the G.711 PCM A-law and R2S payload types.

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 3.6.1.3



## Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

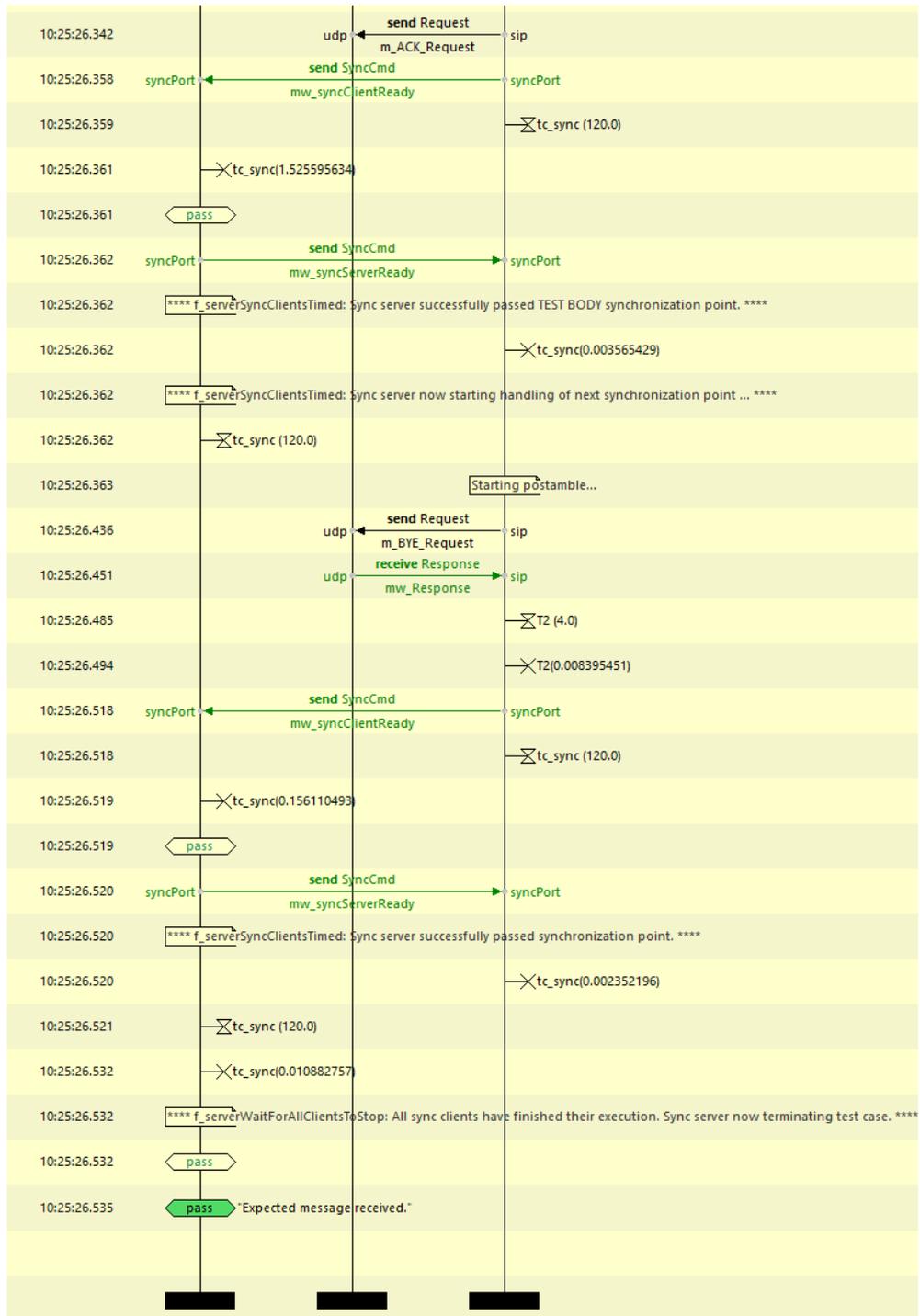


Figura L.16 - Output TC\_RAD\_SDP\_attrib2 (recetor)

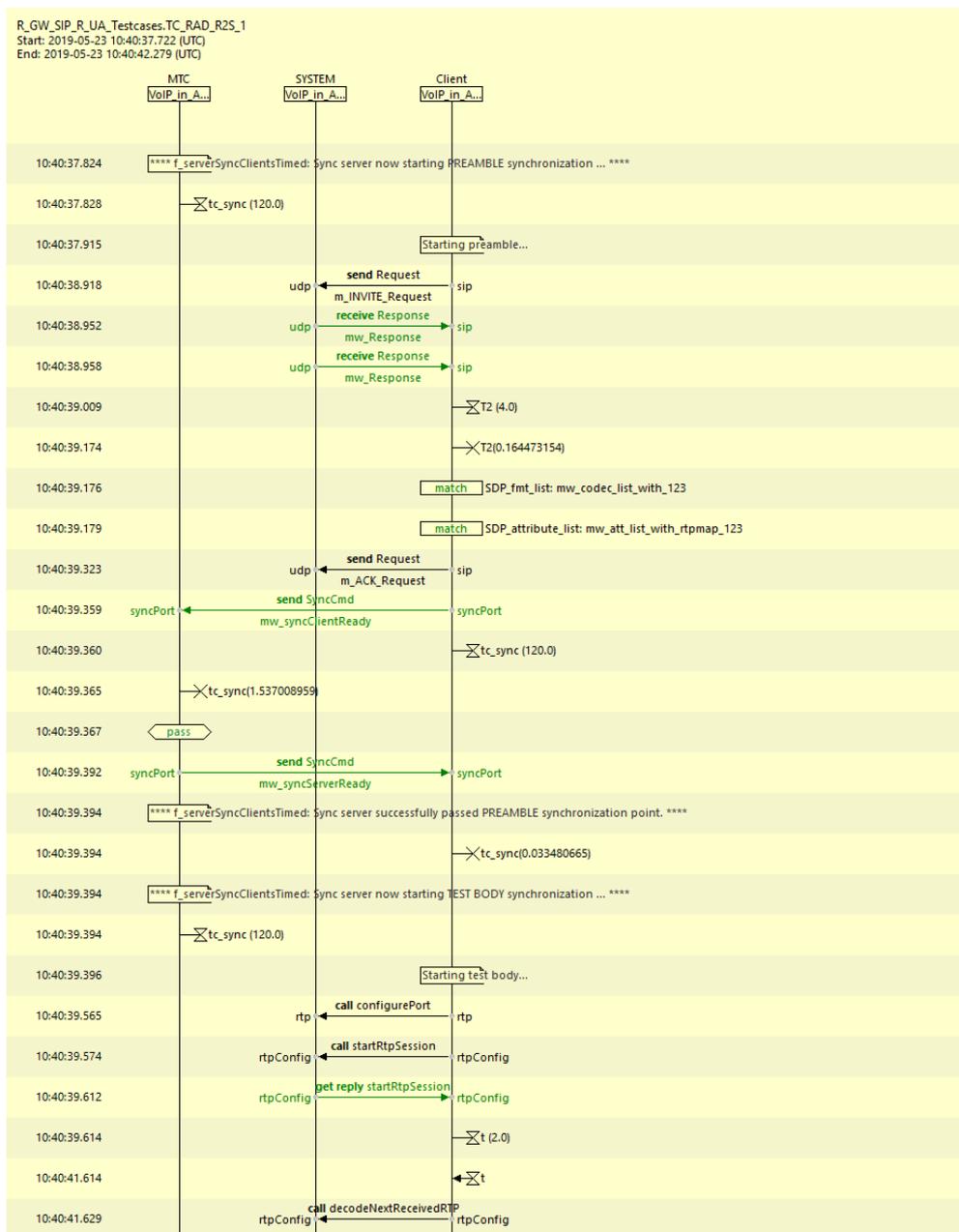
• Recetor: TC\_RAD\_R2S\_1

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

R2S-KeepAlive Packet exchange: Tester establishes a SIP session to the GRS. The Tester sends R2S-Keepalive packets at theR2SKeepAlivePeriod to the GRS with PT3 and an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at theR2S-KeepAlivePeriod from the GRS with PT3 with an incrementing timestamp of 1600 for G.711 A-law or u-law codecs.

**Referência ED-137B:**

ED-137 Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



# Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

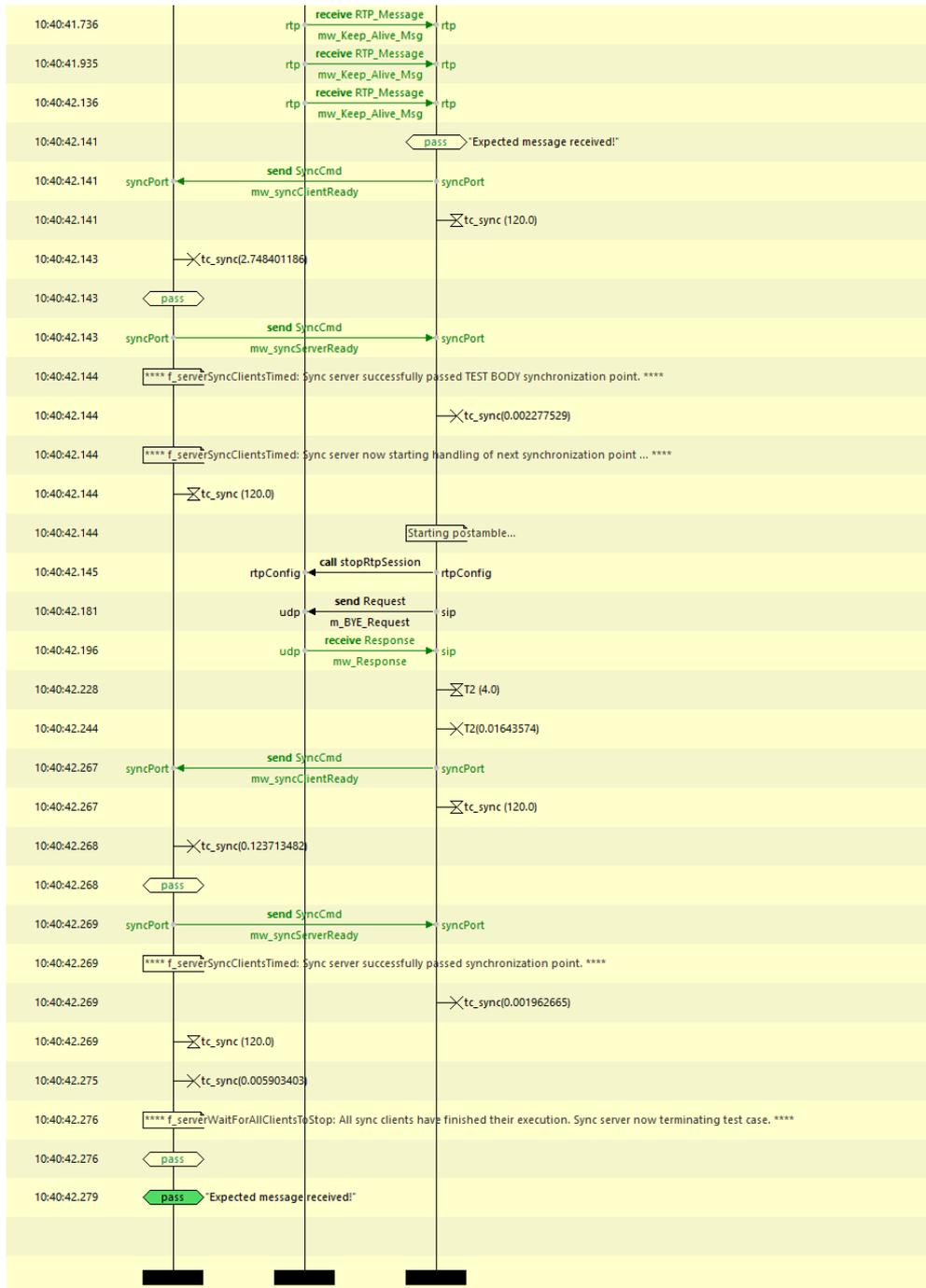


Figura L.17 - Output TC\_RAD\_R2S\_1 (recetor)

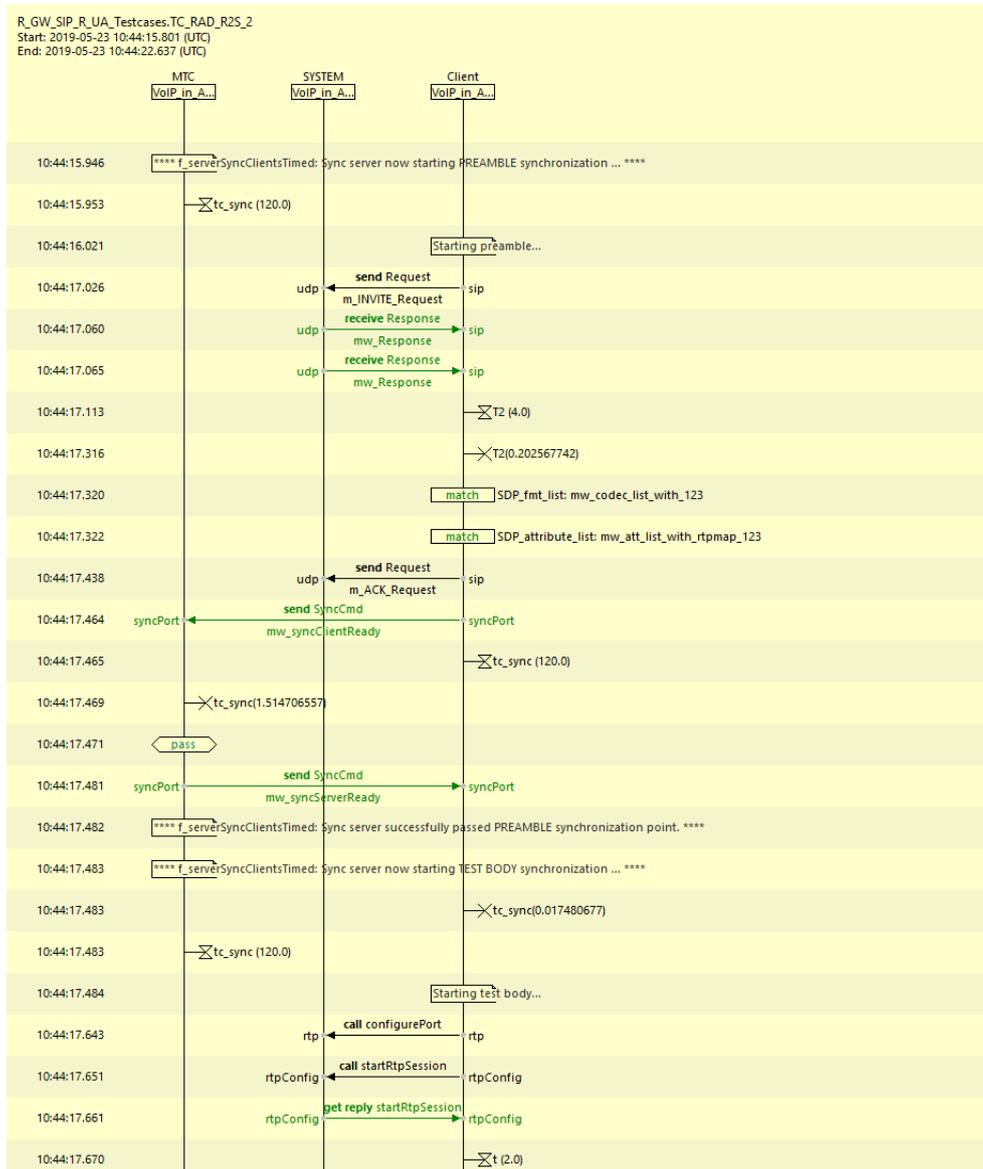
• Recetor: TC\_RAD\_R2S\_2

**Descrição do teste (extraída do VOTER):**

GRS LocalHoldTime Expiry: Tester establishes a SIP session to the GRS. The Tester sends R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the GRS. The Tester verifies that it receives R2S-Keepalive packets at the R2S-KeepAlivePeriod from the GRS. The Tester stops sending R2S-Keepalive packets at the R2SKeepAlivePeriod to the GRS. The Tester verifies that after a period equal to the configuredR2SLocalHoldTime, the GRS sends a BYE message to terminate the session containing a WG67 reason cause 01 (missing R2SKeepAlive). Note: R2S-LocalHoldTime= R2S-KeepAlivePeriod xR2S-KeepAliveMultiplier

**Referência ED-137B:**

ED-137B Part 1 par. 6.3, 6.4, 6.5



# Apêndice L – “Output GRS\_Radio\_Interface\_Testcases”

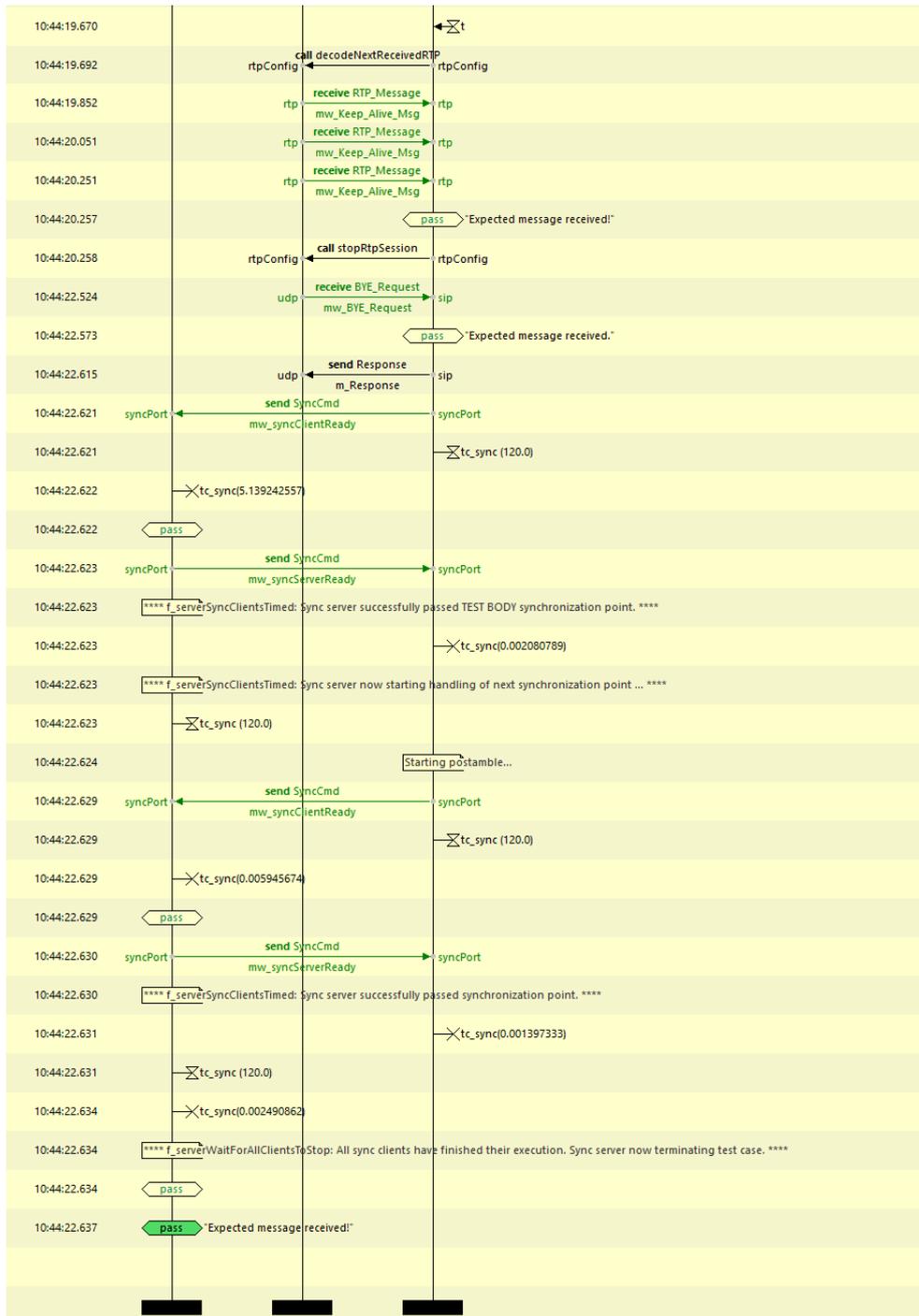


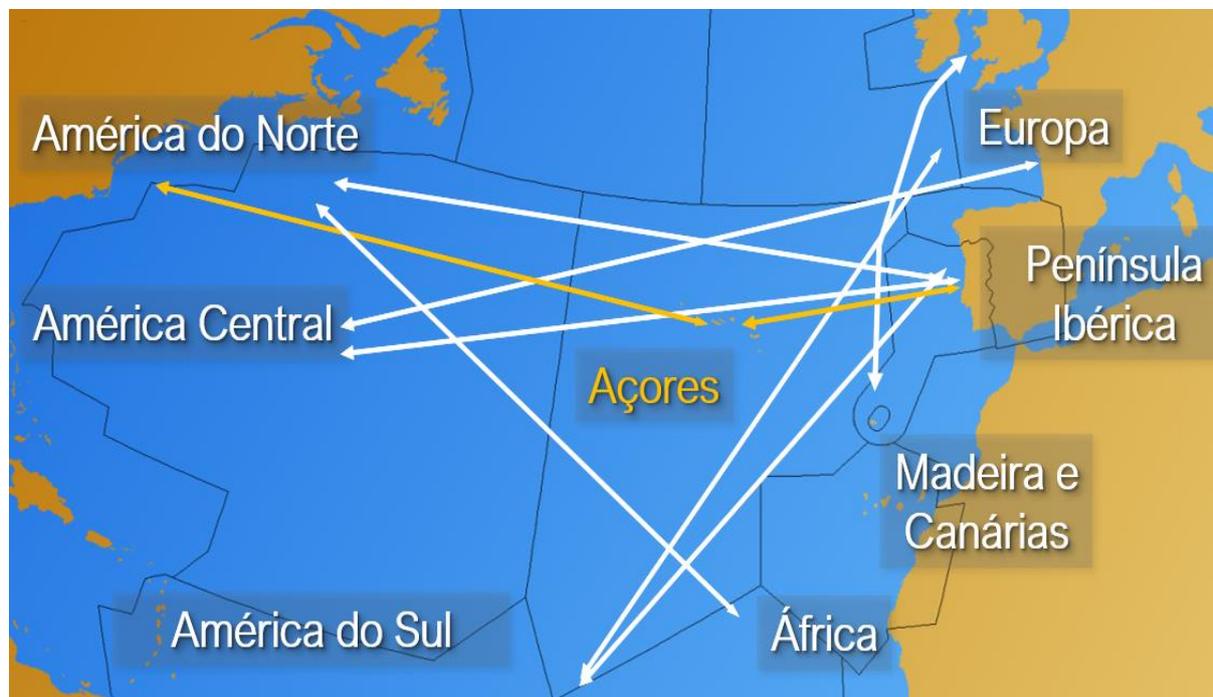
Figura L.18 - Output TC\_RAD\_R2S\_2 (recetor)

# **Anexos**



## Anexo A – “Rotas predominantes na FIR de Santa Maria”

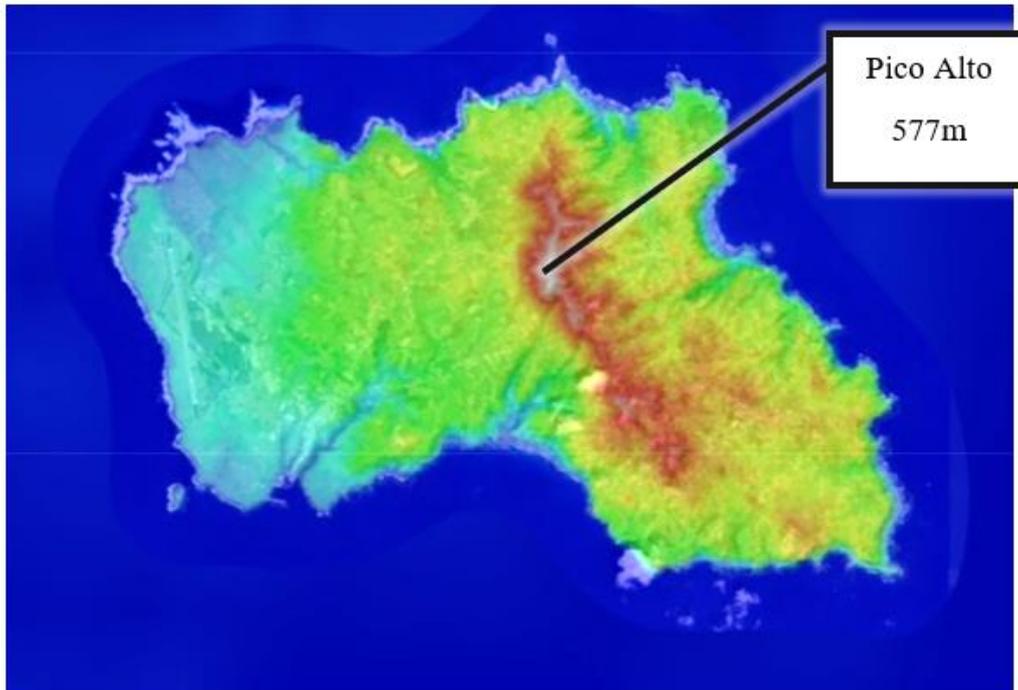
Este anexo reflete as rotas de maior procura que atravessam a FIR de Santa Maria. Dados de 2017.



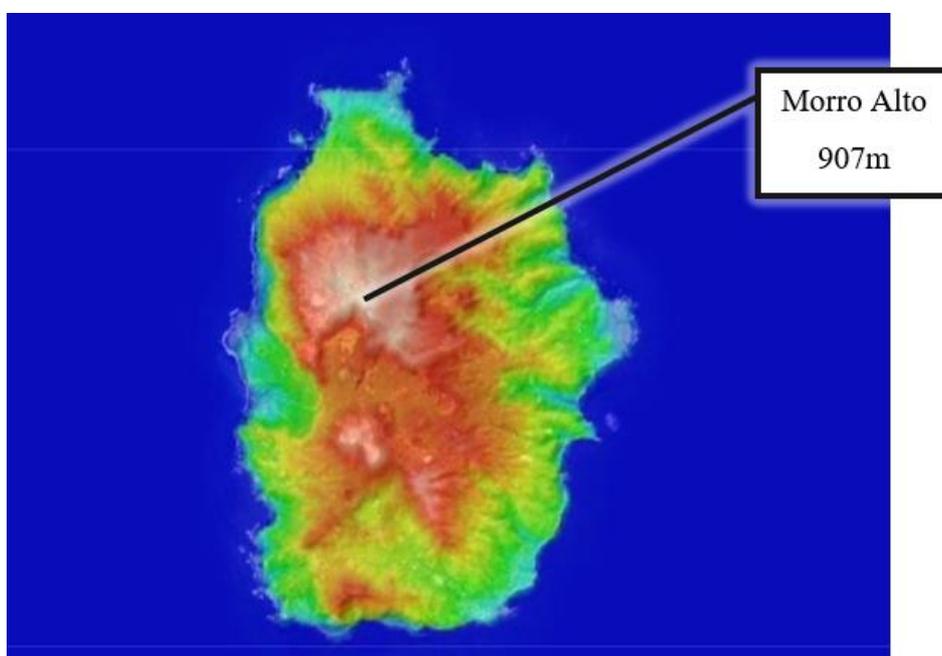


## Anexo B – “Locais privilegiados à implementação de um parque de antenas”

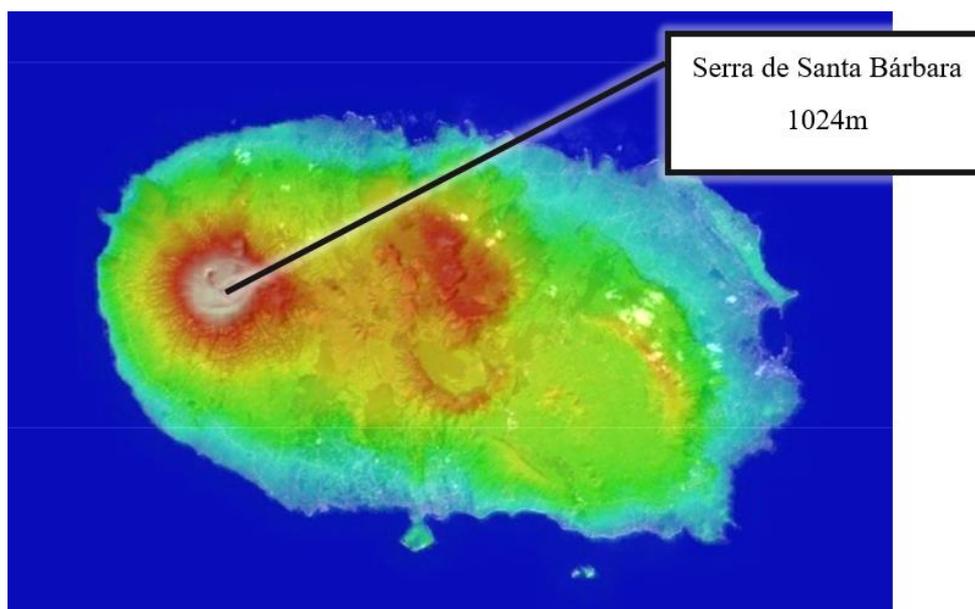
### Ilha de Santa Maria



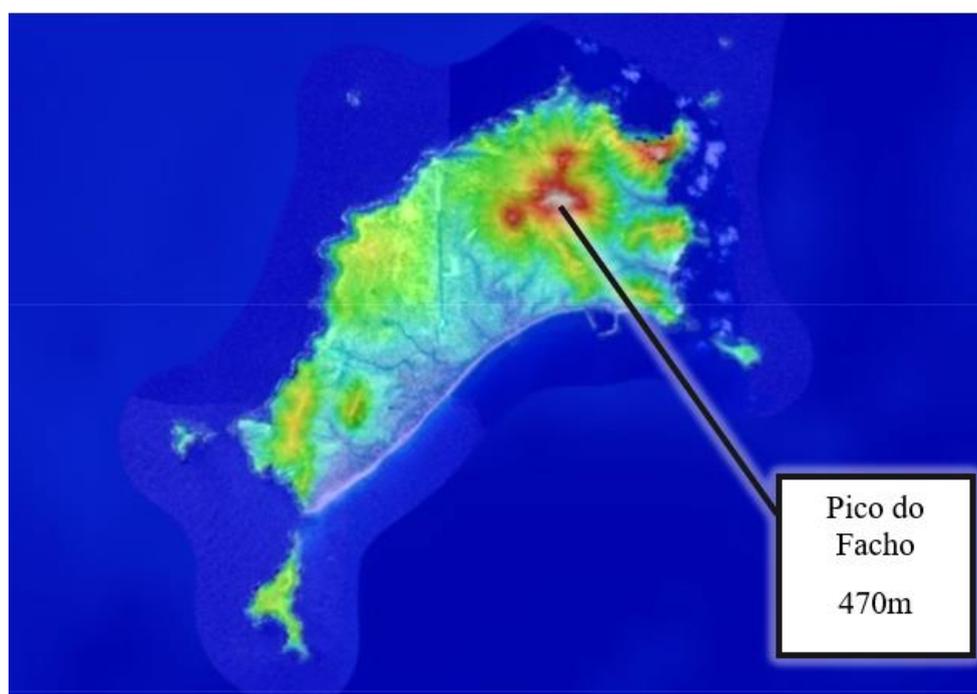
### Ilha das Flores



**Ilha Terceira**



**Ilha do Porto Santo**



## Anexo C – “Cabos submarinos de fibra ótica”

Neste anexo constam os cabos de fibra ótica submarinos inerentes ao projeto. Os dados que constam neste anexo foram obtidos em [29].

### Azores Fiber Optic System (AFOS)

RFS: 1998 July

Cable Length: 1,100 km

Owners: Portugal Telecom

#### Landing Points

Angra do Heroísmo, Portugal

Faial, Portugal

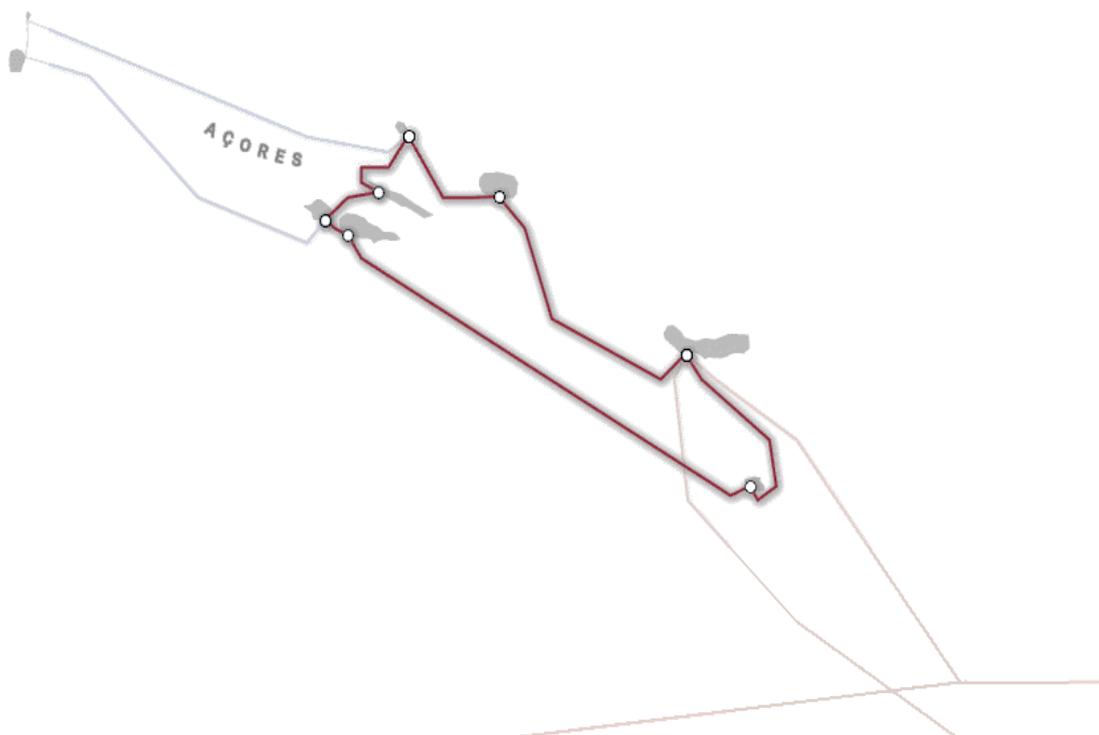
Graciosa, Portugal

Ponta Delgada, Portugal

Sao Mateus, Portugal

Velas, Portugal

Vila do Porto, Portugal



## Flores-Corvo Cable System

RFS: 2014 January

Cable Length: 685 km

Owners: Viatel

URL: <http://www.viatel.pt>

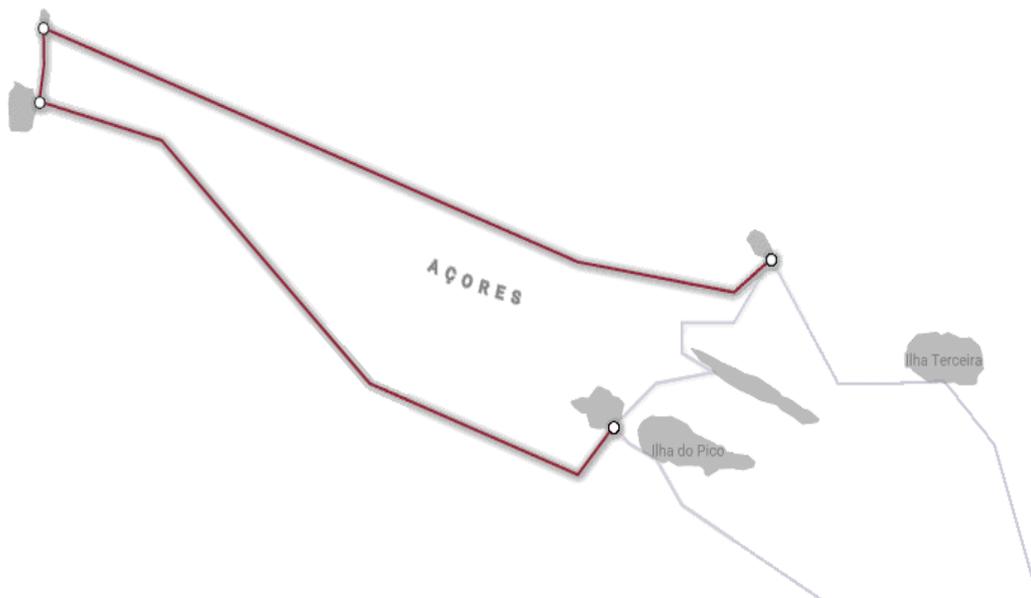
### Landing Points

Corvo, Portugal

Faial, Portugal

Flores, Portugal

Graciosa, Portugal



## Columbus-III

RFS: 1999 December

Cable Length: 9,833 km

Owners: Telecom Italia Sparkle, AT&T, Verizon, Telxius, Portugal Telecom, Tata Communications, Telkom South Africa, Telecom Argentina, Instituto Costarricense de Electricidad, Embratel, Cyta, CANTV, Ukrtelecom

### Landing Points

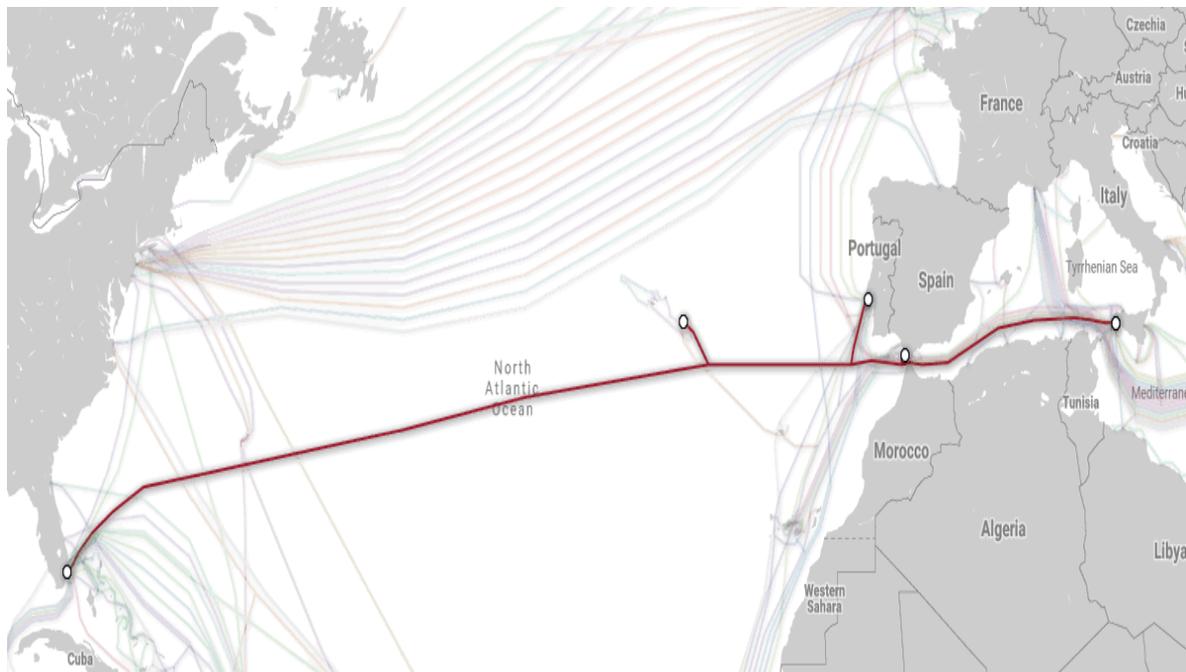
Carcavelos, Portugal

Conil, Spain

Hollywood, FL, United States

Mazara del Vallo, Italy

Ponta Delgada, Portugal



## CAM Ring

RFS: 2003

Cable Length: 1,120 km

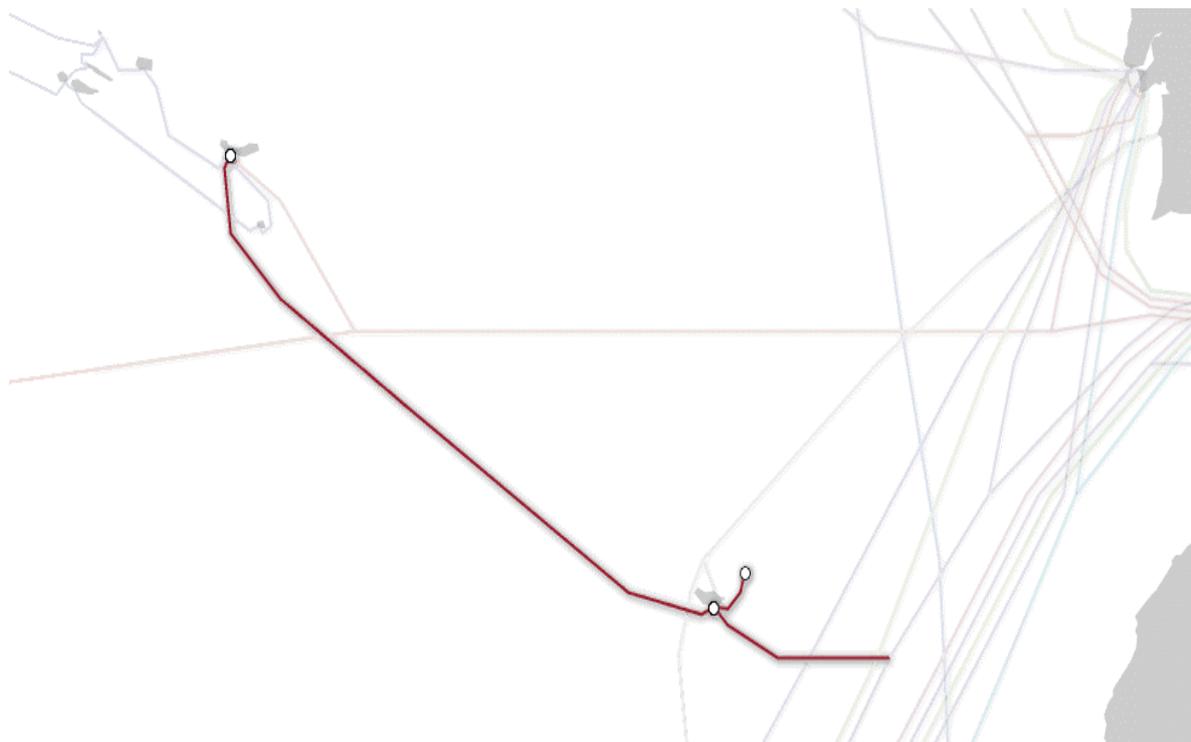
Owners: Portugal Telecom

### Landing Points

Funchal, Portugal

Ponta Delgada, Portugal

Porto Santo, Portugal



## Atlantis-2

RFS: 2000 February

Cable Length: 8,500 km

Owners: Embratel, Deutsche Telekom, Telecom Italia Sparkle, Telecom Argentina, Telxius, Portugal Telecom, Orange, Telefónica Larga Distancia de Puerto Rico, AT&T, BICS, KT, Singtel, Sprint, Tata Communications, Verizon, BT, Orange Polska

### Landing Points

Carcavelos, Portugal

Conil, Spain

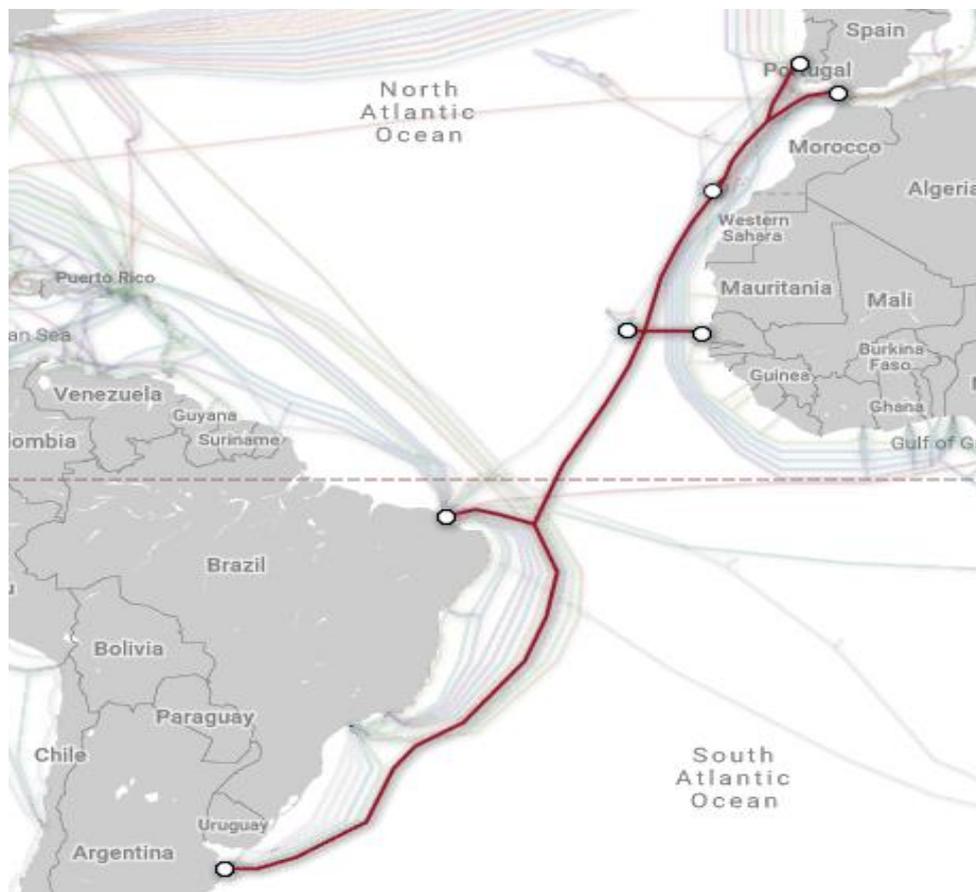
Dakar, Senegal

El Médano, Canary Islands, Spain

Fortaleza, Brazil

Las Toninas, Argentina

Praia, Cape Verde





# Anexo D – “Ficha técnica: Sinclair SC272-SF1SNF”



Antennas  
Low Band, Aviation, and VHF Antennas  
SC272 Series

- SC272-SF1SNF Collinear omni, 0 dBd, 118-137 MHz
- Designed for aviation service under extreme conditions
  - PVC radome
  - Light weight

The SC272 is a lightweight, collinear antenna constructed of high strength fiberglass with an aluminum coaxial skirt and base pipe. The combined features of light weight, unity gain, and low cost make this antenna a natural choice for moderate base station antenna requirements. Mounting clamps are provided for parallel mounting to a minimum 1.9 inch diameter support pipe.



Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com
Product Specification Sheet EPR 017952 Customer Tech Manual 006617		SC272-SF1SNF	Issue: 52	Dated: 14-12-16 Dated: 20-08-04

Sinclair's commitment to product leadership may result in improvement or change to this product  
Copyright © Sinclair Technologies



Antennas  
Low Band, Aviation, and VHF Antennas  
SC272 Series

**Electrical Specifications**

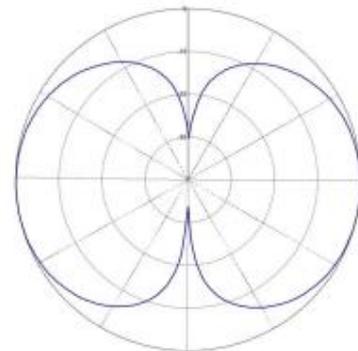
Frequency Range	MHz	118 to 137
Bandwidth	MHz	19
Connector		N-Female
Gain (nominal)	dBd (dBi)	unity (2.1)
Input VSWR (max)		2:1
Polarization		vertical
Impedance	$\Omega$	50
Pattern		Omni-directional
Vertical beamwidth (typ)	degrees	85
Average Power Input (max)	W	250
Lightning protection		DC ground
Electrical tilt (available)		0

**Mechanical Specifications**

Width	in (mm)	2.5 (64)
Depth	in (mm)	2.5 (64)
Length	in (mm)	65.5 (1664)
Radome material		PVC
Weight	lbs (kg)	6.1 (2.77)
Weight iced (1/2" ice)	lbs (kg)	12 (5.45)
Mounting Hardware (Included)		Clamp005
Actual shipping weight	lbs (kg)	25 (11.35)
Shipping dimensions	in (mm)	75x4x4 (1905x102x102)
Mounting configurations		upright
Mounting hardware		#5 clamp

**Environmental Specifications**

Temperature range	°F (°C)	-40 to +140 (-40 to +60)
Wind Loading Area (Flat Plate Equivalent)	ft² (m²)	0.6 (0.06)
Wind Loading Area (1/2" ice)	ft² (m²)	0.9 (0.08)
Rated wind velocity (no ice)	mph (km/h)	135 (217)
Rated wind velocity (1/2" radial ice)	mph (km/h)	115 (185)
Lateral thrust (100 mph No Ice)	lbs (N)	23 (102.3)
Bending moment (100 mph No Ice)	ft-lbs (Nm)	54 (72.9)
Tip deflection (100 mph No Ice)	degrees	3.8

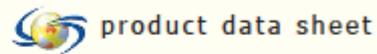


Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
<b>Telephone</b>	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
<b>E-mail</b>	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com
Product Specification Sheet		SC272-SF1SNF	Issue: 52	Dated: 14-12-16
EPR 017952				Dated: 20-08-04
Customer Tech Manual 005617		Sinclair's commitment to product leadership may result in improvement or change to this product		
		Copyright © Sinclair Technologies		Page 2/2

# Anexo E – “Ficha técnica: Skymasts S.6Y”

## S.6Y

### Six Element Yagi Antenna



The S.6Y Series are of a rugged and reliable construction for communication networks at both VHF & UHF. The one piece folded dipole incorporates a d.c. short to minimise static interference. The balun assembly is completely encapsulated in epoxy resin, totally preventing moisture ingress, and has been tested to BS5490:IP67. These antennae give a gain of 8.5dBd with front to back ratio typically 16 dB. They are supplied as standard with 3 metres of RG213 cable terminated with an 'N' type socket, although cable and connector options are available upon request.

### electrical and mechanical specifications

<b>Frequency range</b>	88 - 500 MHz
<b>Input Impedance</b>	50 Ohms
<b>Bandwidth</b>	± 5% of Centre Frequency
<b>VSWR</b>	<1.5:1
<b>Front to Back Ratio</b>	16 dB
<b>Maximum Input Power</b>	150 Watts
<b>Polarisation</b>	Vertical & Horizontal
<b>Forward Gain</b>	8.5 dBd.
<b>3 dB Beamwidth</b>	<b>E Plane 56°</b> <b>H Plane 63°</b>
<b>Connection</b>	3 m Length of RG 213 c/w N type socket. (RG11 / UR57)
<b>Elements</b>	<b>VHF</b> 19.0mm dia x 1.6mm wall <b>UHF</b> 12.7mm dia. x 1.6mm wall Aluminium Alloy Grade 6063T6
<b>Support Boom</b>	31.7 mm dia. x 2.6 mm wall Aluminium Alloy Grade 6082T6
<b>Fasteners</b>	Stainless Steel Grade A2-70
<b>Saddle clamps</b>	Diecast Zinc Alloy.
<b>Insulator</b>	Epoxy Resin Encapsulant.
<b>Lightning protection</b>	Direct Grounded
<b>Mounting Brackets</b>	COP series (not supplied)
<b>Typical Weight</b>	<b>VHF</b> 5.5 kg <b>UHF</b> 2.7 kg
<b>Typical Length</b>	<b>VHF</b> 4 m <b>UHF</b> 1.3 m
<b>Typical Wind loading @ 45m/s</b>	<b>VHF</b> 208 N <b>UHF</b> 100 N
<b>Optional Mounting Bracketry</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>COP64</b> Galvanised Steel Crossover Plate To suit 2" tube</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>Z71 series</b> Cast Aluminium Crossover Clamp To suit 30-120mm tube</p> </div> </div>

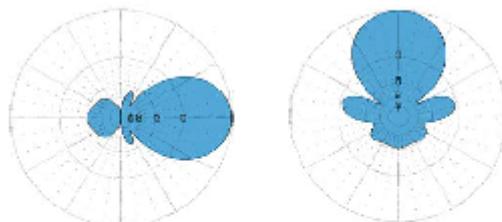


E Plane

H Plane

### Free Space Radiation Patterns

(ASCII Files available upon request)



Skymasts Antennas Ltd., Equilibrium House, Mansion Close, Moulton Park Industrial Estate, Northampton NN3 8RU England.  
Telephone +44(0)1804 484132 Fax +44(0)1804 484133 email info@skymasts.com web www.skymasts.com



# Anexo F – “Ficha técnica: PROCOM CXL 3-3C”

CXL 3-3C



## Sturdy 3 dBd Gain Base Station Antenna for the air band

### DESCRIPTION

- CXL 3-3C is a sturdy, 3 dBd, vertically polarized, omnidirectional base station antenna, which covers the air band.
- The antenna is provided with our “C” mast bracket, which is a universal, epoxy-coated mounting bracket made of non-corrosive aluminium. The accompanying U-bolts and fittings are made of stainless steel.
- The antenna can be mounted on 27 to 65 mm dia. mast tubes and it is possible to lead the cable either along the inside or on the outside of the mast tube.
- The phasing of the radiating elements is carefully adjusted to yield maximum gain in the horizontal plane, with the level of the sidelobes reduced to a minimum. Special emphasis has been laid on obtaining a large bandwidth both in relation to SWR and gain.
- The broad-banded antenna element is completely enclosed in a glass fibre shroud, which will ensure performance undisturbed by corrosive environments.
- To substantially reduce noise caused by atmospherical discharges, all metal parts in the antenna are DC-grounded. Consequently, the antenna shows a DC-short across the coaxial cable.
- This antenna is constructed to ensure long dependable service in all climates.



### ORDERING

Type	Product No.
CXL 3-3C	100000079

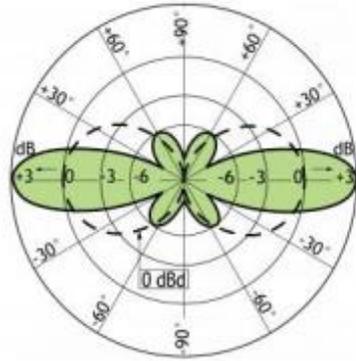
### SPECIFICATIONS

Electrical	
Model	CXL 3-3C
Frequency	119 - 131 MHz
Antenna Type	Coaxial dipole, broad-banded
Polarisation	Vertical
3 dB Beamwidth, E-Plane	30 °
3 dB Beamwidth, H-Plane	Omnidirectional
Impedance	50 Ω
Gain	3 dBd (5.2 dBi)
Maximum Input Power	400 W
Bandwidth	12 MHz
Antistatic Protection	All metal parts DC-grounded (Connector shows a DC-short)
HCM Code(s)	HCM000ND00, 030DE00
Mechanical	
Connection(s)	N/I
Materials	Radome : Polyurethane-coated glass fibre Mounting bracket : Seawater resistant aluminium, epoxy-coated
Colour	White (RAL 9003)
Wind Area	0.165 sq. m / 1.78 sq. ft
Wind Load	209 N (160km/h)
Height	3750 mm / 147.64 in.
Weight	4.5 kg / 9.92 lb
Mounting	On 27 - 65 mm dia. mast tube
Environmental	
Operating Temperature Range	-30°C to +70°C
Survival Wind Speed	200 km/h

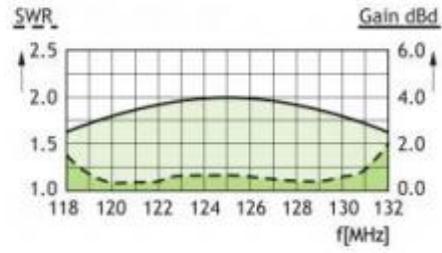
CXL 3-3C



TYPICAL RADIATION PATTERN (E-PLANE)



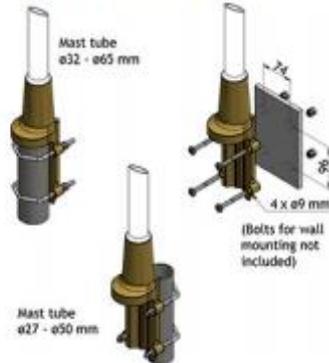
TYPICAL GAIN AND SWR CURVES



TYPICAL RADIATION PATTERN (H-PLANE)



MULTI-PURPOSE MOUNTING BRACKET



# Anexo G – “Ficha técnica: CELLFLEX 7/8” LCF78-50JA-A7”

PRODUCT DATASHEET  
LCF78-50JA-A7

RADIO FREQUENCY SYSTEMS  
The Clear Choice®



## 7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

CELLFLEX® 7/8" premium attenuation low loss flexible cable

### FEATURES / BENEFITS

- **Ultra Low Attenuation**  
The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- **Complete Shielding**  
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RF/EMI shield that minimizes system interference.
- **Low VSWR**  
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- **Outstanding Intermodulation Performance**  
CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- **High Power Rating**  
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- **Wide Range of Application**  
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

### Technical Features

#### APPLICATIONS

Applications	Main feed line
--------------	----------------

#### STRUCTURE

Cable Type	Foam-Dielectric, Corrugated
Size	7/8"
Jacket Option	Black
Inner Conductor	mm (in) 9.32 (0.37) Copper Tube
Dielectric	mm (in) 22.4 (0.88) Foam Polyethylene
Outer Conductor	mm (in) 25.2 (0.99) Corrugated Copper
Jacket	mm (in) 27.8 (1.09) Polyethylene, PE

#### ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 1
Maximum Frequency	GHz	5
Velocity	%	90
Capacitance	pF/m (pF/ft)	74 (22.5)
Inductance	μH/m (μH/ft)	0.185 (0.056)
Peak Power Rating	kW	85
RF Peak Voltage	Volts	2920
Jacket Spark	Volt RMS	8000
Inner Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.54 (0.47)
Outer Conductor dc Resistance	Ω/1000 m (Ω/1000 ft)	1.55 (0.47)
Return Loss (VSWR) Performance		Premium for 696 - 794, 824 - 960, 1710 - 1755, 1850 - 1990, 2110 - 2155 MHz
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	24 (1.135)
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

#### MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight	kg/m (lb/ft)	0.41 (0.28)
Minimum Bending Radius, Single Bend	mm (in)	120 (5)
Minimum Bending Radius, Repeated Bends	mm (in)	250 (10)
Bending Moment	Nm (lb*ft)	13 (9.6)
Tensile Strength	N (lb)	1440 (324)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	0.8 / 1 (2.75 / 3.25)

LCF78-50JA-A7

REV: C

REV DATE: 30.Jul.2012

www.rfsworld.com

All values nominal unless tolerances provided; information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

Page 1 of 2

PRODUCT DATASHEET  
LCF78-50JA-A7

RADIO FREQUENCY SYSTEMS  
The Clear Choice®



## 7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

### ATTENUATION AND POWER RATING

Frequency MHz	Attenuation		Power KW
	dB/100m	dB/100ft	
0.5	0.08	0.024	85.00
1	0.11	0.034	85.00
1.5	0.14	0.041	73.60
2	0.16	0.048	63.70
10	0.35	0.107	28.30
20	0.50	0.152	20.00
30	0.61	0.186	16.20
50	0.79	0.242	12.50
88	1.06	0.323	9.38
100	1.13	0.345	8.80
108	1.18	0.358	8.42
150	1.39	0.425	7.15
174	1.50	0.458	6.63
200	1.62	0.493	6.14
300	2.00	0.608	4.97
400	2.32	0.707	4.28
450	2.47	0.753	4.02
500	2.61	0.796	3.81
512	2.64	0.806	3.77
600	2.88	0.876	3.45
700	3.12	0.951	3.19
750	3.24	0.987	3.07
800	3.35	1.02	2.97
824	3.41	1.04	2.91
894	3.56	1.08	2.79
900	3.57	1.09	2.78
925	3.62	1.10	2.75
960	3.70	1.13	2.69
1000	3.78	1.15	2.63
1250	4.27	1.30	2.33
1400	4.54	1.38	2.19
1500	4.71	1.44	2.11
1700	5.05	1.54	1.97
1800	5.21	1.59	1.91
2000	5.52	1.68	1.80
2100	5.67	1.73	1.75
2200	5.82	1.77	1.71
2400	6.11	1.86	1.63
2500	6.25	1.91	1.59
2600	6.39	1.95	1.56
2700	6.53	1.99	1.52
3000	6.93	2.11	1.43
3500	7.56	2.30	1.31
4000	8.16	2.49	1.22
4900	9.17	2.80	1.08
5000	9.28	2.83	1.07

### TESTING AND ENVIRONMENTAL

Fire Performance	Halogene Free
Installation Temperature	-40 to 60 (-40 to 140) °C(*F)
Storage Temperature	-70 to 85 (-94 to 185) °C(*F)
Operation Temperature	-50 to 85 (-58 to 185) °C(*F)

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature;  
tolerance +/- 5% max.; Mean power rating at  
40°C (104°F) ambient temperature

External Document Links	Notes

LCF78-50JA-A7

REV: C

REV DATE: 30.Jul.2012

[www.rfsworld.com](http://www.rfsworld.com)

All values nominal unless tolerances provided; information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

Page 2 of 2

# Anexo H – “Ficha técnica: COMMSCOPE CNT-400”

## Product Specifications

COMMSCOPE®

### CNT-400

CNT-400, CNT® 50 Ohm Braided Coaxial Cable, variable, black PE jacket



### Construction Materials

Jacket Color	Black
Jacket Material	Non-halogenated PE
Braid Material	Tinned copper
Shield Tape Material	Aluminum
Dielectric Material	Foam PE
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire

### Dimensions

Cable Weight	0.10 kg/m
Diameter Over Dielectric	7.240 mm   0.285 in
Diameter Over Jacket	10.290 mm   0.405 in
Diameter Over Tape	7.391 mm   0.291 in
Inner Conductor OD	2.7400 mm   0.1079 in
Nominal Size	0.400 in
Outer Conductor OD	8.080 mm   0.318 in

### Electrical Specifications

Cable Impedance	50 ohm
Capacitance	78.0 pF/m   24.0 pF/ft
dc Resistance, Inner Conductor	4.690 ohms/km   1.430 ohms/kft
dc Resistance, Outer Conductor	5.610 ohms/km   1.710 ohms/kft
dc Test Voltage	2500 V
Jacket Spark Test Voltage (rms)	4000 V
Maximum Frequency	16.20 GHz
Operating Frequency Band	30 – 6000 MHz
Peak Power	16.0 kW
Shielding Effectiveness	>90 dB
Velocity	85%

### Environmental Specifications

Installation Temperature	-40 °C to +85 °C (-40 °F to +185 °F)
Operating Temperature	-40 °C to +85 °C (-40 °F to +185 °F)
Storage Temperature	-70 °C to +85 °C (-94 °F to +185 °F)

# Product Specifications



CNT-400

## General Specifications

Cable Type	CNT-400
Braid Coverage	90% braid
Brand	CNT®

## Mechanical Specifications

Bending Moment	0.7 N-m   0.5 ft lb
Flat Plate Crush Strength	0.7 kg/mm   40.0 lb/in
Minimum Bend Radius, Single Bend	25.40 mm   1.00 in
Tensile Strength	73 kg   160 lb

## Electrical Performance

Frequency	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)
30 MHz	2.49	0.76
50 MHz	3.18	0.97
150 MHz	4.92	1.50
220 MHz	6.23	1.90
450 MHz	8.86	2.70
900 MHz	12.80	3.90
1500 MHz	16.70	5.10
1800 MHz	18.40	5.60
2000 MHz	19.40	5.90
2400 MHz	21.65	6.60
2500 MHz	22.00	6.70
3000 MHz	24.60	7.50
4000 MHz	28.87	8.80
4500 MHz	30.84	9.40
5000 MHz	32.81	10.00
5200 MHz	33.46	10.20
5500 MHz	34.78	10.60
5800 MHz	35.76	10.90
6000 MHz	36.42	11.10

## Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2011/65/EU	Compliant
China RoHS SJ/T 11364-2006	Below Maximum Concentration Value (MCV)
ISO 9001:2008	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system



## Anexo I – “Serviços da rede FreedomSat”



Consumer Plans	Monthly Allowance (GB)	Download* (Kbps)	Upload* (Kbps)	Monthly Cost**	Complete System Cost***
Office 30	30	512	128	\$287.50	\$1,707.50
Office 40	40	512	256	\$345.00	\$1,650.00
Office 50	50	512	512	\$402.50	\$1,592.50
Business 65	65	1024	128	\$506.00	\$1,489.00
Business 75	75	1024	256	\$563.50	\$1,431.50
Business 85	85	1024	512	\$621.00	\$1,347.00
Corporate 95	95	2048	128	\$690.00	\$1,305.00
Corporate 110	110	2048	256	\$747.50	\$1,247.50
Corporate 130	130	2048	512	\$833.75	\$1,161.25
Dedicated Bandwidth	Unlimited	1:1/Mbps	1:1/Mbps****	\$3,000.00	Based on service order
3GB top-up token					\$35.00

### Bentley Walker 10:1 (FAP free) Subscriptions†

256/256	N/A	256	256	\$252.94	\$1,742.06
512/256	N/A	512	256	\$379.44	\$1,615.56
1024/256	N/A	1024	256	\$632.39	\$1,362.61
2048/256	N/A	2048	256	\$1,138.27	\$856.73

\* Headline information rate. Speeds may vary subject to coverage.

\*\* Initial payment of three months required to be applied as the first, second and final months service in a renewable 12 month commitment; advance payments of 12 months will receive a month discount. Subsequent subscription payments to be made monthly in advance.

\*\*\* Shipping payable from UK. Bentley Walker terms and conditions of sale apply.

\*\*\*\* Based on uplinks less than or equal to the size of the required downlink; uplink requirements of 512Kbps or larger subject to link budget.

† Subscription to be paid in advance in a minimum one month block, initial payment to include one month deposit refunded as 12th month of subscription in this year's commitment to service.

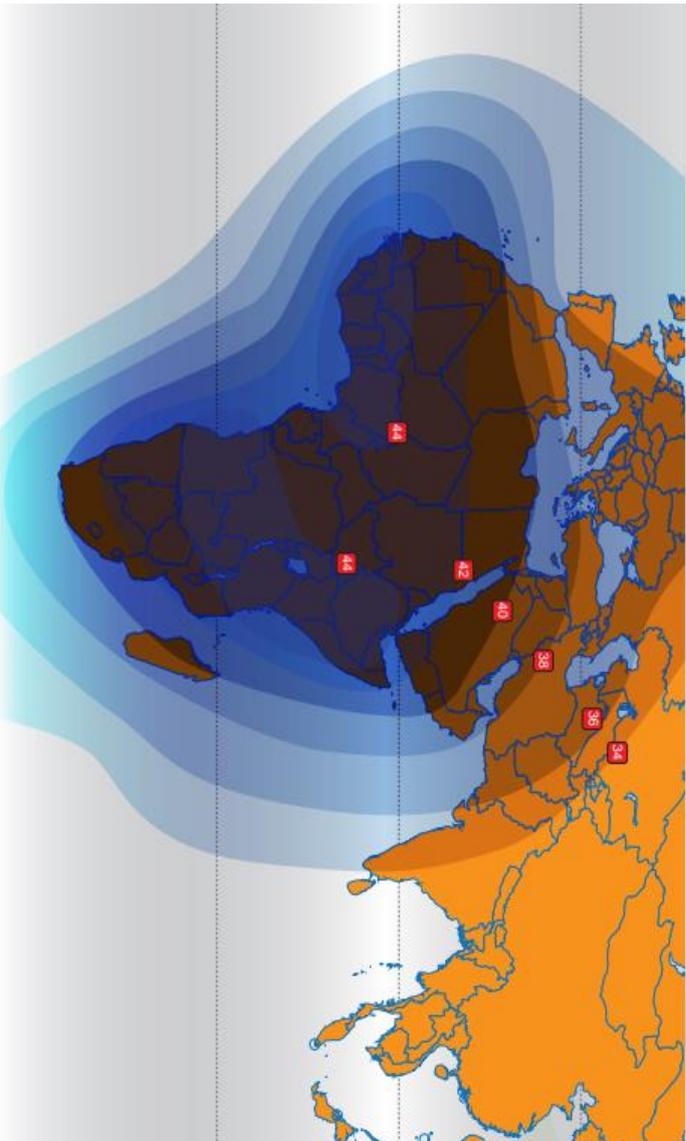
Shipping payable from UK. Bentley Walker terms and conditions of sale apply.

Ref: Freedom Retail Price - C-band.xls

## BENTLEY EVOLUTION C-BAND

Covering Africa, Europe and the Middle East, our C-band service on satellite Amos 5 provides our customers with increased resistance to rain fade for unprecedented reliability. In areas of high rainfall C-band is the technology of choice, and Bentley Walker offers a huge range of service plans for this platform.

Uplinked from our award-winning teleports across Europe, Bentley Walker C-band service is based on the most solid of foundations. With this power at the hub, Bentley Walker can offer excellent signal strength and quality of service to customer sites with 1.8m antenna installations. The service supports the IDirect Evolution modem, an industry leading technology with world-class support for corporate applications including VPN and VoIP. Evolution connections benefit from DVB-S2 with ACM (Adaptive Coding Modulation) for the most advanced levels of efficiency and reliability.



www.freedomSAT.com / tel: +44 (0)2392 311 103 / sales@freedomSAT.com



## EQUIPMENT REQUIREMENTS

- Bentley Walker offer the following system on C-band:-
  - The Evolution@X3 Satellite Router is a satellite router featuring IDirect's highly efficient implementation of the DVB-S2 standard. This router is ideally suited for broadband requirements such as Internet and VPN access to enterprise networks, as well as real-time VoIP and video conferencing.



Our FreedomSat C-band service covers a wide area. We are able to provide revolutionary speeds of up to 2Mbps to ensure you stay connected no matter how remote location.



Rate: Freedom Rental Price - C band as