

Solução Tecnológica para a Localização de Veículos no Aeroporto de Lisboa

Mariana Moita Bigotte

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis
Engenheiro João Luís Freire Mira

Júri

Presidente: Professor Doutor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Vogal: Professor Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva

Dezembro de 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Vasco Reis, pelo apoio prestado na elaboração da minha dissertação de mestrado. Também gostaria de agradecer ao meu co-orientador, Engenheiro João Mira, da Thales Portugal, pelo tempo despendido para me ajudar a compreender diversas questões relacionadas com as tecnologias de posicionamento.

Gostaria de agradecer ao Engenheiro Duarte Gouveia, da Ana Aeroportos, o apoio dado no desenvolvimento da minha dissertação, por me ter concedido uma série de reuniões de modo a compreender melhor o funcionamento de tecnologias no Aeroporto de Lisboa. De igual modo, agradeço ao Engenheiro António Pinho e à Engenheira Isabel Oliveira, da ANA Aeroportos, pelo apoio prestado.

Por último, gostaria de agradecer à minha família e amigos, o apoio dado ao longo dos anos na minha licenciatura, mestrado e na dissertação.

Abstract

The Single European Sky concept, promoted changes at various levels in the European Union's airport system. On a technological level, it was identified the need to improve the *situational awareness*, for all airport system stakeholders, of the positioning of aircraft and all operations involved in its trajectory, especially ground-handling operations (operational area OFA 01.02.02 Enhanced Situational Awareness).

Considering the need to adapt the Lisbon Airport to SESARs' recommendations, improve the desempenho of ground-handling operations and improve airport safety, were defined a set of technological options that could allow knowing the positioning of people, vehicles and equipment to support ground-handling operations. The main goal of the dissertation was to evaluate the set of defined technological solutions in order to make a recommendation on the best option.

Through a multi-criteria analysis on the options, using the decision support system M-MACBETH, was formed a hierarchy of technological options: 1st GPS + RFID, 2nd GPS + Vídeo, 3rd GPS+Bluetooth and 4th GPS + WiFi, with very close global scores. Therefore, it was concluded that the recommended alternative to apply at Lisbon Airport would be the combination of GPS system with RFID.

Despite the robustness of the results obtained, it is clear that it is very difficult to evaluate technological options, verifying the very close overall scores for each option. Therefore, all options would be equally interesting, considering that complementary analysis should be done.

Keywords:

Situational Awareness, Positioning, MACBETH, Multi-criteria analysis, Airport.

Resumo

O conceito de Céu Único Europeu, veio promover alterações a diversos níveis no sistema aeroportuário da União Europeia. A nível tecnológico identificou-se a necessidade de melhorar o conhecimento por parte de todos os *stakeholders* do posicionamento de aeronaves e de todas as operações envolvidas na sua trajetória, especialmente das operações de assistência em terra (área operacional OFA01.02.02 *Enhanced Situational Awareness*).

Considerando a necessidade de adaptar o Aeroporto de Lisboa às recomendações do SESAR, melhorar o desempenho dos processos de assistência em terra e melhorar a segurança aeroportuária na placa, definiu-se um conjunto de opções tecnológicas que permitisse saber o posicionamento de pessoas, veículos e equipamentos de apoio às operações de assistência em terra. O objetivo principal da dissertação seria avaliar o conjunto de soluções tecnológicas definidas de modo a fazer uma recomendação sobre a melhor opção.

Fazendo uma análise multicritério às opções, através do *software* de apoio à decisão M-MACBETH, chegou-se a uma hierarquia de opções tecnológicas: 1º GPS+RFID, 2º GPS+Vídeo, 3º GPS+Bluetooth e 4º GPS+WiFi, apesar de com pontuações globais bastante próximas. Neste sentido concluiu-se que a alternativa recomendada a aplicar no Aeroporto de Lisboa seria a combinação do sistema GPS com a RFID.

Apesar dos resultados obtidos serem robustos, ficou patente a dificuldade em avaliar as opções tecnológicas, ao verificar que os resultados das pontuações globais de cada opção eram muito próximos. Neste sentido, todas as opções seriam igualmente interessantes, sendo necessário análises complementares.

Palavras-chave:

Situational Awareness, Posicionamento, MACBETH, Análise multicritério, Aeroporto.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Abstract.....	v
Resumo	vii
Índice	ix
Índice de Quadros	xi
Índice de Figuras	xi
Glossário.....	xiii
1 Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	9
1.3. Metodologia	9
1.4. Estrutura	10
2 O Sistema Aeroportuário.....	11
2.1. Áreas de um Aeroporto	11
2.2. Agentes e Funções.....	12
2.2.1 Companhias aéreas	13
2.2.2 Controlo de Tráfego Aéreo	13
2.2.3 Operações aeroportuárias.....	14
2.2.4 Assistência em Terra.....	14
2.2.5 <i>Situational Awareness</i>	19
3 Tecnologias de posicionamento.....	23
3.1 Sistemas de posicionamento.....	23
3.2 Processos de estimação de posição	24
3.3 Tecnologias	25
3.3.1 Sistema GPS	26
3.3.2 Detecção por vídeo	26
3.3.3 Redes sem fios	27
3.4 Sistemas de posicionamento na placa de um aeroporto	31
3.5 Critérios de avaliação de tecnologias.....	33

4	O Apoio à Decisão	35
4.1	Os Sistemas de Apoio à Decisão.....	35
4.2	Análise Multicritério	36
4.2.1	Metodologia genérica da análise multicritério	37
4.2.2	Métodos de análise multicritério	40
4.3	Métodos de apoio à seleção de tecnologias	49
5	O Aeroporto de Lisboa	51
5.1	Caracterização do Aeroporto de Lisboa.....	51
5.1.1	Infra-estruturas	52
5.2	Atividades do processo de <i>turnaround</i>	53
5.2.1	Veículos, equipamentos e pessoas envolvidas.....	55
5.3	Tecnologias no Aeroporto de Lisboa.....	56
5.4	Necessidades	57
6	Avaliação de Opções Tecnológicas	58
6.1	Metodologia M-MACBETH	58
6.2	Estruturação	59
6.2.1	Definição de opções tecnológicas	59
6.2.2	Definição de critérios e construção da “árvore de decisão”	61
6.3	Avaliação	64
6.3.1	Pontuação.....	64
6.3.2	Ponderação	65
6.4	Recomendação	67
6.4.1	Análise de Resultados.....	67
6.4.2	Análise de Sensibilidade	71
6.4.3	Análise de Robustez.....	77
6.4.4	Apresentação de resultados.....	78
7	Conclusões.....	80
	Referências bibliográficas	83
	ANEXO 1 – Descrição de medidas operacionais em cada passo [4].....	89
	ANEXO 2 – Bases matemáticas do software M-MACBETH	91
	ANEXO 3 – Planta do Aeroporto de Lisboa.....	94

Índice de Quadros

Quadro 1 – Medidas operacionais.	8
Quadro 2 – Passos de melhoria operacional relativos à <i>Situational Awareness</i>	8
Quadro 3 - Áreas do lado ar de um Aeroporto.	12
Quadro 4 - Funções dos principais agentes do sistema aeroportuário.	13
Quadro 5 - A-CDM Milestones, partilha de informação, atividades e intervenientes.	20
Quadro 6 - Caracterização genérica de algumas tecnologias de localização.	29
Quadro 7 – Modelos determinísticos de decisão multicritério.....	41
Quadro 8 - Caracterização de alguns métodos de Análise Multicritério.	48
Quadro 9 - Entidades responsáveis pelo <i>turnaround</i> no Aeroporto de Lisboa.	54
Quadro 10 - Veículos, equipamentos e pessoas envolvidas no <i>turnaround</i> no Aeroporto de Lisboa. .	55
Quadro 11 - Hierarquia de Opções Tecnológicas.	69
Quadro 12 - Resultados do Modelo.	78
Quadro 13 – Hierarquia de opções tecnológicas resultante do modelo.	81

Índice de Figuras

Figura 1 - Crescimento do transporte aéreo na Europa e previsão até 2020 (Fevereiro 2013).	2
Figura 2 - Enquadramento da <i>Situational Awareness</i> no “Céu Único Europeu”.....	3
Figura 3 - Comparação entre espaços aéreo europeu antes e depois da implementação do SES.	3
Figura 4 - Entidades responsáveis da iniciativa do “Céu Único Europeu”.	4
Figura 5 - Fases de desenvolvimento do SESAR.	5
Figura 6 - Orientações estratégicas definidas no SESAR.	6
Figura 7 - Alterações Operacionais propostas para o sistema aeroportuário.	7
Figura 8 - Metodologia aplicada na Dissertação.	9
Figura 9 - Principais agentes do sistema aeroportuário.....	12
Figura 10 - Período de tempo de <i>turnaround</i> de uma aeronave.	14
Figura 11 - Processo típico de <i>turnaround</i> , incluindo as principais atividades envolvidas.	17
Figura 12 - Típico serviço de <i>Turnaround</i> de um <i>Boeing 737</i> de última geração.	18
Figura 13 - Critérios possíveis de considerar na avaliação de tecnologias.	33
Figura 14 - Metodologia genérica da análise multicritério.....	37
Figura 15 - Pistas do Aeroporto de Lisboa.	52
Figura 16 - Terminal 1 do Aeroporto de Lisboa.....	53
Figura 17 - Terminal 2 e zona remota do Aeroporto de Lisboa.	53
Figura 18 - Zona de <i>turnaround</i> no Aeroporto de Lisboa.	54
Figura 19 - Metodologia de construção do modelo de análise multicritério do M-MACBETH.	58

Figura 20 - Opções do modelo de análise multicritério.....	60
Figura 21 - Critérios de avaliação das opções tecnológicas considerados no <i>software</i> M-MACBETH.	61
Figura 22 - Definição de níveis qualitativos de desempenho para o critério “Precisão”.....	63
Figura 23 - Tabela de desempenhos das opções para cada critério.....	64
Figura 24 - Matrizes de julgamentos MACBETH, para cada critério.....	65
Figura 25 - Referências de ponderação para cada critério.....	65
Figura 26 - Ponderação entre critérios de avaliação no M-MACBETH.....	66
Figura 27 - Escala de ponderação de critérios na Avaliação das Opções Tecnológicas.....	66
Figura 28 - Tabela MACBETH de pontuações globais.....	67
Figura 29 - Perfil ponderado da opção RFID.....	68
Figura 30 – Perfil ponderado da opção Vídeo.....	68
Figura 31 – Perfil ponderado da opção Bluetooth.....	68
Figura 32 – Perfil ponderado da opção WiFi.....	68
Figura 33 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções RFID e Vídeo.....	69
Figura 34 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções Vídeo e Bluetooth.....	70
Figura 35 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções Bluetooth e WiFi.....	70
Figura 36 - Avaliação de opções tecnológicas tendo em conta as áreas de critérios de avaliação.....	71
Figura 37 - Análise de sensibilidade no peso do critério Cobertura.....	72
Figura 38 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 32,4% no critério Cobertura.....	72
Figura 39 - Análise de sensibilidade no peso do critério Precisão.....	73
Figura 40 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 32,4% no critério Cobertura.....	74
Figura 41 - Análise de sensibilidade no peso do critério Fiabilidade.....	74
Figura 42 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 16,9% no critério Fiabilidade.....	75
Figura 43 - Análise de sensibilidade no peso do critério Custo.....	75
Figura 44 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 12,51% no critério Custo.....	76
Figura 45 - Análise de sensibilidade no peso do critério Interoperabilidade.....	76
Figura 46 - Análise de robustez.....	77

Glossário

A-CDM – Airport Collaborative Decision Making

ACI - Airport Council International

ADES – Destination Airport

AIBT – Actual In-Block Time

ALDT – Actual Landing Time

ALS – Aeroporto de Lisboa

ANSP - Air Navigation Service Providers

AOBT – Actual Off-Block Time

APU – Air Power Unit

ASAT – Actual Start Up Approval Time

A-SMGCS - Advanced Surface Movement Guidance and Control System

ATOT – Actual Take-Off Time

ATC – Air Traffic Controller

ATM Master Plan – Air Traffic Management Master Plan

ATS - Airport Transit System

CNS - Communication, Navigation and Surveillance

CTOT - Calculated Take Off Time

DLA – Mensagem de atraso

DPI – Informação do Plano sobre a partida (take-off), do Aeroporto para Network Operations.

DSS – Decision Support Systems

DST – Decision Support Tools

EASA – European Aviation Safety Agency

EIBT – Estimated In-block Time

ELDT – Estimated Landing Time (inbound)

EOBT – Estimated Off-Block Time

ESSIP - European Single Sky Implementation Plan

ETTT – Estimated Turnaround Time

FAB's - Functional Air Blocks

FIR – Região de informação de voo

FPL - Plano de Voo

FSA – First System Activation

IATA – International Air Transport Association

ICAO - International Civil Aviation Organization

IFR – Instrument Flight Rules

INAC – Instituto Nacional de Aviação Civil

MVT – Movement Message

NOP - Network Operations Plan

R&D – Research and Development

SEAC - SESAR European Airports Consortium

SES – Single European Sky

SESAR – Single European Sky Air Traffic Management Research Program

SWIM – System Wide Information Management

TBT – Terminal de Transferência de Bagagem

TITAN - Turnaround Integration in Trajectory and Network

TMA – Terminal Manoeuvring Area

TOBT – Target Off-Block Time

TSAT – Target Start Up Approval Time

TTOT – Target Take-Off Time

UE – União Europeia

ULD – Unit Load Device

WAX - Wide Area Multi-Lateration

WIMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

1 Introdução

1.1. Enquadramento

O aumento do tráfego aéreo na Europa, e consequentes problemas de congestionamento, conduziu à introdução do conceito de Céu Único Europeu (SES), promovendo alterações a diversos níveis no sistema aeroportuário da União Europeia. Tendo como principal objetivo a melhoria da eficiência do sistema aeroportuário, contribuiria para aumentar a sua flexibilidade e previsibilidade, através do incremento de partilha de informação entre os intervenientes do sistema. Por outro lado, permitiria reduzir os tempos gastos na trajetória das aeronaves, pela redução dos tempos das operações aeroportuárias, e consequentemente os custos operacionais, uniformizando o sistema aeroportuário dos diversos países da Europa.

Um dos requisitos da implementação do Céu Único Europeu, a nível tecnológico, prende-se com a necessidade de conhecimento por parte de todos os *stakeholders* do posicionamento da aeronave e de todas as operações envolvidas na sua trajetória [1]. Isto implica o posicionamento e seguimento em tempo real de aeronaves, veículos, pessoas e equipamentos no perímetro aeroportuário (Área Operacional com designação *OFA01.02.02 Enhanced situational awareness*). Neste sentido, e tendo em conta que o seguimento de aeronaves na placa se baseia em tecnologias de radar, observou-se a necessidade de implementar outros sistemas que permitissem fazer este seguimento de modo mais eficaz, apoiando-se em outras tecnologias.

No Aeroporto de Lisboa ainda não existe implementada uma solução inteiramente compatível com os requisitos do SES, nomeadamente em relação ao seguimento de pessoas, veículos de apoio e equipamentos na área da placa. Neste sentido, existem diversas opções tecnológicas que poderão ser utilizadas para este propósito.

Com vista à introdução no Aeroporto de Lisboa de sistemas de posicionamento e seguimento na área da Placa, é necessário ter em consideração a variedade de opções disponíveis no mercado, assim como as suas propriedades, a nível de características físicas e funcionais, parque tecnológico existente ou expectativas dos intervenientes. Assim sendo, há a necessidade de se proceder a uma avaliação das várias soluções tecnológicas por forma a determinar o conjunto que melhor se adapta ao Aeroporto de Lisboa.

Desde os anos 60 que se tem verificado um crescimento do tráfego aéreo na Europa. Contudo, em 2009 observou-se uma descida acentuada do tráfego aéreo, devido à crise económica que afetou a Europa. Apesar de se ter observado um ligeiro crescimento em 2011, o tráfego aéreo europeu

continuou a mostrar alguma fragilidade, devido à redução dos voos domésticos, o aumento de preço dos combustíveis, os problemas resultantes da *primavera árabe* e as dificuldades financeiras da indústria de tráfego aéreo [2]. Em 2012, observou-se uma descida de tráfego de cerca de 2,4% abaixo dos níveis de 2011, e em 2013 continuou a verificar-se a descida dos voos na ordem de 1,3%. A partir deste ano, espera-se uma recuperação económica na Europa, e prevê-se um crescimento anual do tráfego aéreo na ordem dos 3% por ano. Neste sentido, é esperado atingir-se em 2019 um tráfego de 11,2 milhões de movimentos na Europa, mais 17% do que em 2012 [2] (Figura 1).

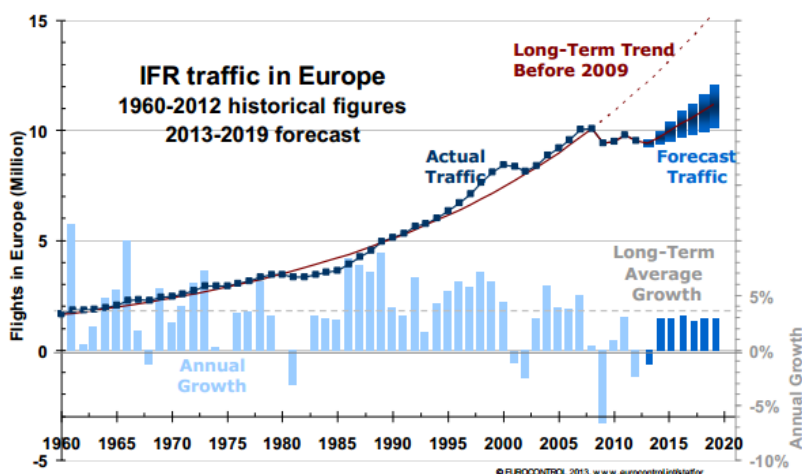


Figura 1 - Crescimento do transporte aéreo na Europa e previsão até 2020 (Fevereiro 2013).

Fonte: EUROCONTROL, STATFOR Doc493 [2].

Contudo, apesar de se prever um crescimento do tráfego aéreo a partir de 2014, as recentes previsões indicam que se espera a partir de 2017 um crescimento anual inferior a 3% por ano, devido aos problemas associados à falta de capacidade dos aeroportos [2]. Neste sentido, prevê-se que a partir de 2017 os aeroportos europeus não possuam capacidade para responder ao aumento do tráfego aéreo. A Eurocontrol estimou em 60.000 o número de voos que em 2013 foram recusados por incapacidade da rede aeroportuária, valor que se espera aumentar para 135.500 em 2019 [3].

Tendo em conta as ineficiências identificadas na gestão de tráfego aéreo na Europa e os problemas de congestionamento associados, a Comissão Europeia lançou em 2004 uma iniciativa denominada "Céu Único Europeu" (SES I – *Single European Sky*) (Figura 2), cujo principal objetivo seria transformar o espaço aéreo europeu, reduzindo em 10% a pegada carbónica do Setor da Aviação, aumentando em 300% a capacidade do espaço aéreo, reduzindo em 50% os custos do controlo de tráfego aéreo e duplicando os níveis de segurança [4], promovendo a adaptação das organizações e dos sistemas a uma rede europeia uniformizada [5].

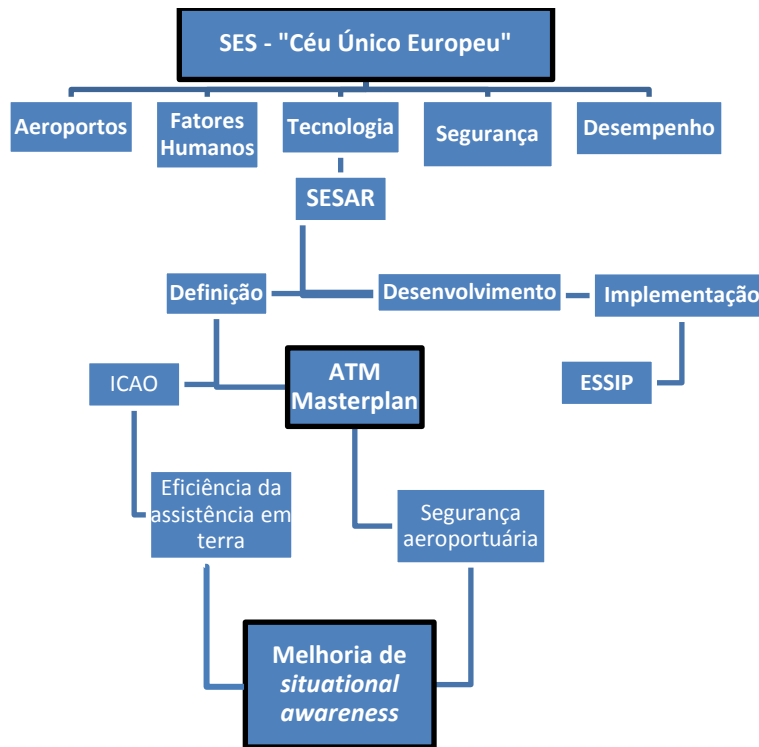


Figura 2 - Enquadramento da *Situational Awareness* no “Céu Único Europeu”.

A iniciativa do “Céu Único Europeu” propõe uma gestão centralizada da rede de tráfego aéreo europeu, através da introdução dos FAB – *Functional Air Blocks* (Figura 3), dividindo o espaço aéreo europeu por “blocos” de maior dimensão.

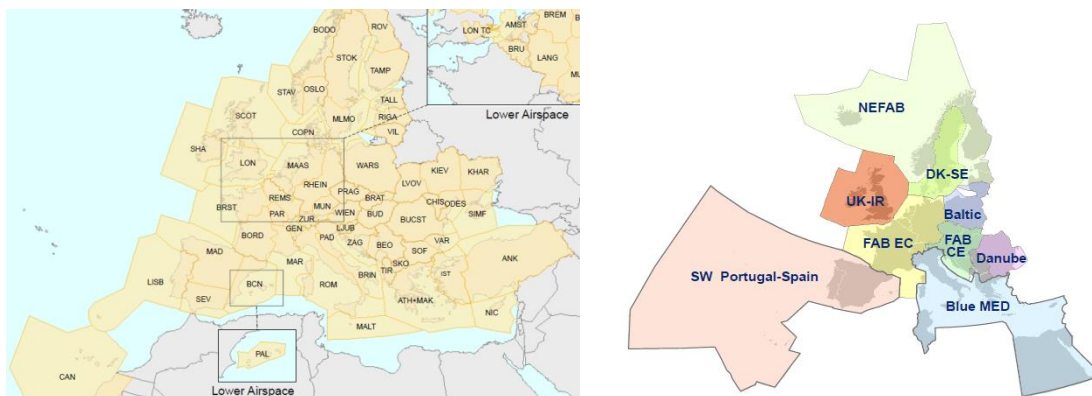


Figura 3 - Comparação entre espaços aéreo europeu antes e depois da implementação do SES.

Fonte: http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/ses2plus/cost-flight-efficiency.pdf [6].

No seguimento do SES I, foram lançados em 2009 os projeto SES 2 e SES 2+, de modo a ter em conta também questões ambientais e relativas ao custo-eficiência do espaço aéreo europeu [7]. Como parte do plano do SES2+/ATM, a Comissão Europeia definiu uma melhor forma de organização, alocando a cada entidade áreas de responsabilidade específicas (Figura 4) [8].

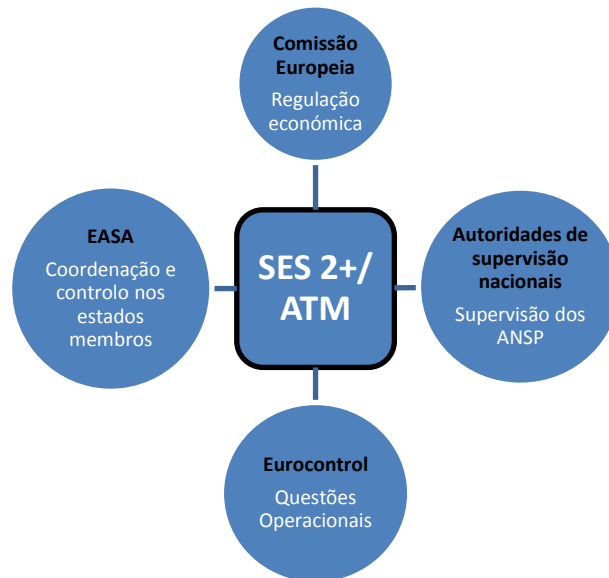


Figura 4 - Entidades responsáveis da iniciativa do “Céu Único Europeu”.

Adaptado de Fonte: http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/ses2plus/institutional-matters.pdf [8].

A iniciativa do “Céu Único Europeu” foi dividida em diversas áreas de atuação, nomeadamente a nível de aeroportos, fatores humanos, tecnologia, segurança e desempenho [9], definindo recomendações para cada área. Tendo em conta a necessidade de investigação e desenvolvimento para a aplicação da iniciativa, surgiu, associado ao pilar tecnológico do SES, o programa SESAR (*Single European Sky Air Traffic Management Research Project*), que permitiu definir uma série de alterações operacionais a implementar na rede de tráfego aéreo europeu [4]. Diretamente relacionados com os aeroportos surgiram os *Work Packages (WP)*: WP6 - Operações do Aeroporto e WP12 – Sistemas Aeroportuários [9], que se focaram em temas relacionados com as operações, infraestruturas e projetos de gestão [10].

Com vista ao cumprimento dos objetivos definidos no SES até 2030, o projeto foi dividido em três fases: Definição, Desenvolvimento e Implementação (Figura 5). A fase de Definição produziu um plano (*Air Traffic Management Master Plan*) com as bases para as fases seguintes do projeto. A fase de Desenvolvimento teve como objetivo promover o desenvolvimento dos novos sistemas tecnológicos através da criação de um grupo de gestão do projeto (*SESAR Joint Undertaking*). A fase de Implementação pretende implementar as novas infra-estruturas na Europa e nos países parceiros [11].

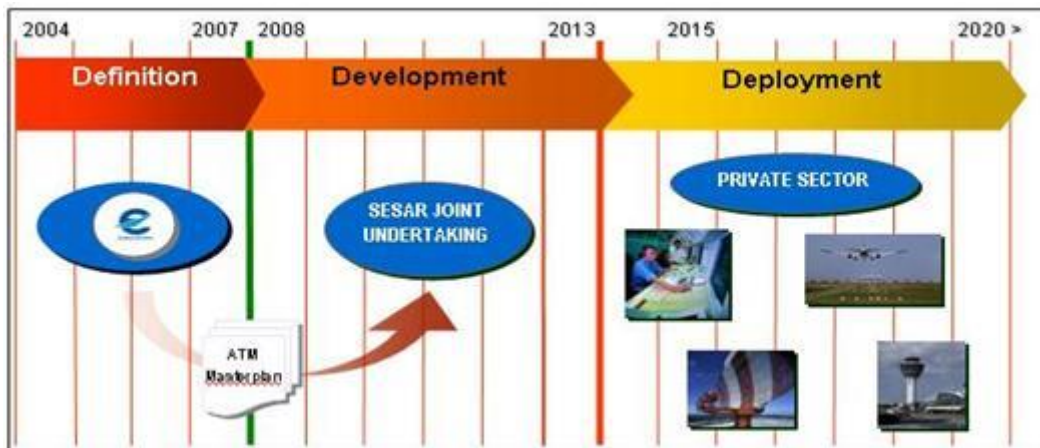


Figura 5 - Fases de desenvolvimento do SESAR.

Fonte: <http://ec.europa.eu/transport/modes/air/sesar/> [11]

O SESAR propunha o desenvolvimento em três etapas, com vista a uma gestão de tráfego aéreo sincronizada (Tempo), a utilização de sistemas de informação comuns (Trajetória) e um melhor desempenho do sistema aéreo [4], tendo por base as seis orientações estratégicas [4] principais (Figura 6): A gestão de trajetória 4D, considerando o transporte aéreo como uma sequência de operações em contínuo, durante um dia inteiro, incluindo as operações em terra, implicando o conhecimento da posição e tempo de cada ponto da trajetória [12]; A sincronização do tráfego, através de partilha de informação temporal; A gestão colaborativa da rede, onde o planeamento da trajetória da aeronave é desenvolvido com conhecimento de todas as partes, através do NOP (*Network Operations Plan*) [12]; O SWIM (*System Wide Information Management*), sistema que permite troca de informação entre *stakeholders*, de modo a melhorar o processo de decisão e a permitir o acesso à informação [12]; A integração aeroportuária e correlações, através do projeto A-CDM – *Airport Collaborative Decision Making*, que pretende facilitar a partilha de informação precisa e em tempo real entre os *stakeholders*, adaptar os processos operacionais, implementar processos automáticos e garantir ferramentas de fácil utilização [12]; A gestão de conflitos e automatização, de modo a melhorar a previsibilidade das trajetórias, melhorar os mecanismos de deteção e resolução de conflitos bem como melhorar as ferramentas de controlo.

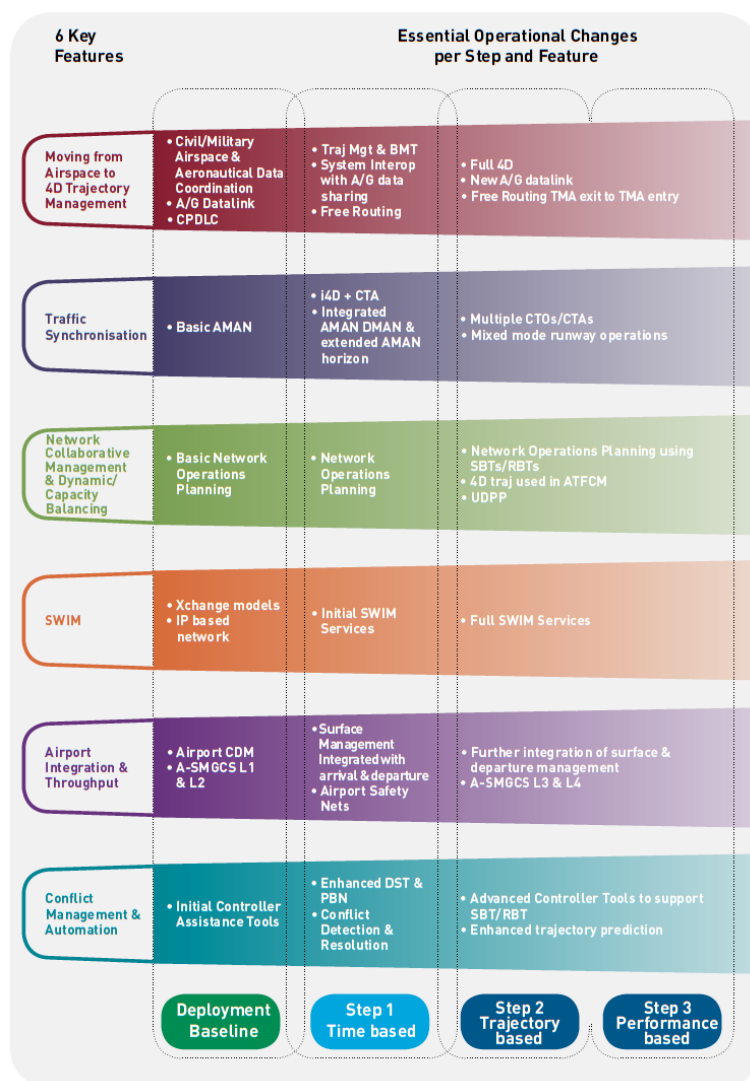


Figura 6 - Orientações estratégicas definidas no SESAR.

Fonte: file:///C:/Users/Mariana/Downloads/European%20ATM%20Master%20Plan%20Edition_2%20Oct-2012%20[2].pdf [4].

O *ATM Master Plan* definiu o planeamento para as alterações operacionais e tecnológicas associadas ao SES, tendo, através do plano de implementação, designado ESSIP, conduzindo à elaboração de *roadmaps*¹ tecnológicos, com alterações propostas ao nível das comunicações, navegação e segurança [4]. As alterações operacionais foram propostas para as diversas áreas do sistema aeroportuário, nomeadamente as operações *En-route*, TMA (áreas de movimentação), Aeroporto e Rede (Figura 7).

¹ Um Roadmap é uma técnica de suporte ao Planeamento e Gestão Tecnológica, que permite relacionar as ligações dinâmicas entre os recursos tecnológicos, os objetivos organizacionais e o ambiente envolvente de uma organização [13]. A estrutura genérica de um roadmap é um diagrama bidimensional, representando as componentes (tecnologias) num eixo vertical e a evolução do tempo no eixo horizontal [14].

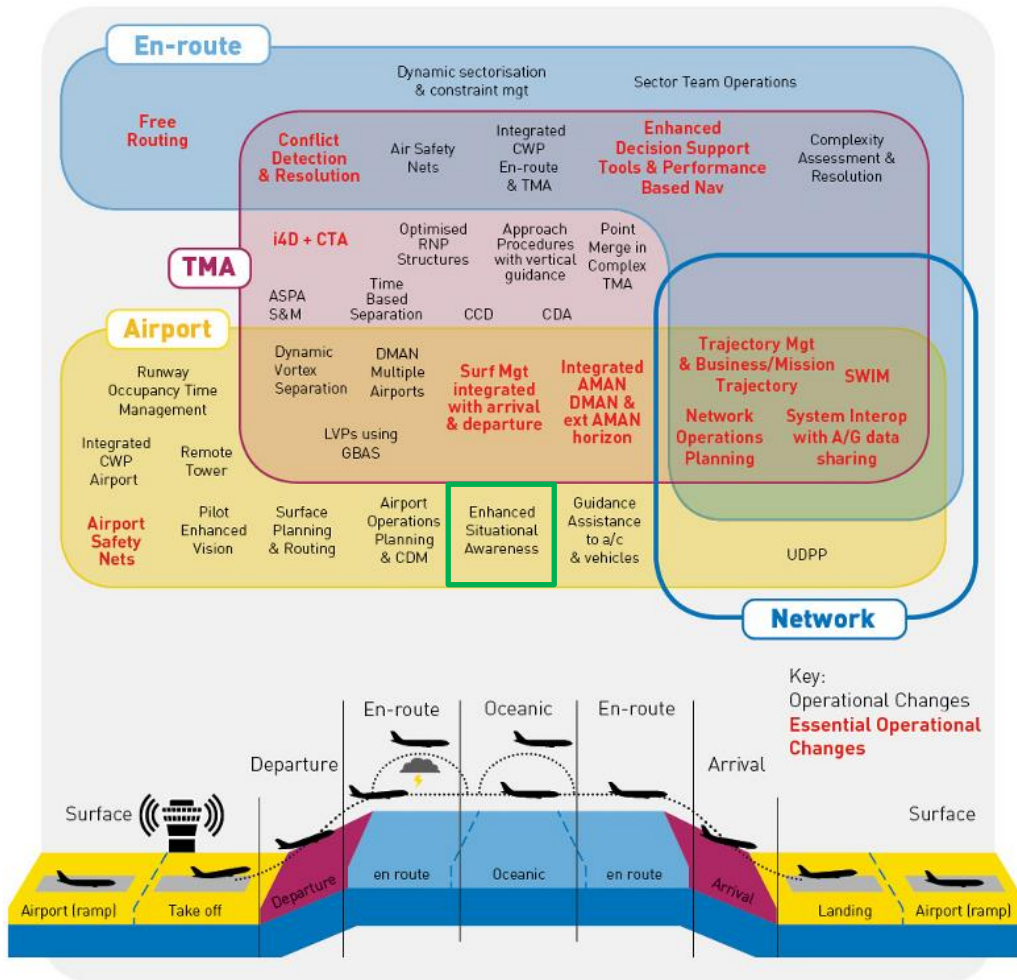


Figura 7 - Alterações Operacionais propostas para o sistema aeroportuário.

Fonte: file:///C:/Users/Mariana/Downloads/European%20ATM%20Master%20Plan%20Edition_2%20Oct-2012%20[2].pdf [4].

Tendo em consideração o conceito de operações definido pelo ICAO relativo à melhoria da segurança na pista [B0-75 Improved Runway Safety (A-SMGCS Level 1-2 and Cockpit Moving Map)] e à melhoria de segurança e eficiência das operações na placa [B1-75 Enhanced Safety and Efficiency of Surface Operations (ATSA-SURF)] [4], foram desenvolvidos pacotes de medidas operacionais (Quadro 1) a implementar no Aeroporto. Assim sendo, tendo em conta a melhoria de segurança no aeroporto e na pista, uma das alterações operacionais propostas foi a melhoria da *Situational Awareness* (Figura 7, a verde), isto é, o conhecimento por parte de todos os *stakeholders* do posicionamento da aeronave e de todas as operações envolvidas na sua trajetória [1].

Quadro 1 – Medidas operacionais.

<i>Operational Package</i>
- PAC01 Increased Runway and Airport Throughput
<i>Operational Sub-Package</i>
- SPC01.02 Airport Safety
<i>Operational Focus Areas</i>
- OFA01.02.02 Enhanced situational awareness

Para além disso, identificou-se a necessidade de em terra, melhorar o planeamento das operações e a comunicação entre intervenientes, bem como fornecer sistemas de navegação para veículos na placa [4]. Assim sendo, para a área de melhoria de *Situational Awareness*, o plano propôs quatro passos de melhoria operacional (Quadro 2), com vista a serem implementados nos aeroportos até 2020 [4].

Quadro 2 – Passos de melhoria operacional relativos à *Situational Awareness*.

Adaptado de Fonte: file:///C:/Users/Mariana/Downloads/European%20ATM%20Master%20Plan%20Edition_2%20Oct-2012%20[2].pdf [4].

<i>Passos de Melhoria Operacional (OIS - Operational Improvement Steps)</i>
AO-0103 Improved Runway-Taxiway Lay-out, Signage and Markings to Prevent Runway Incursions (2014-2019)
Melhorar o <i>layout</i> dos caminhos de circulação (<i>taxiways</i>) e da pista (<i>runway</i>) relativamente à localização do terminal; Melhorar zonas de atravessamento; Melhorar a sinalização e marcação na placa.
Objetivo: Reduzir o risco de intrusão na pista (<i>runway</i>).
AO-0201 Enhanced Ground Controller <i>Situational Awareness</i> in all Weather Conditions (2007-2011)
O controlador sabe a posição e a <i>identidade</i> de todas as aeronaves e veículos na área de circulação e no <i>apron</i> (zona da placa).
Objetivo: Controlar os fluxos de veículos e aeronaves, reduzindo as perdas de utilização dos veículos, aumentando a comunicação.
AO-0204 Airport Vehicle Driver's Traffic <i>Situational Awareness</i> (2018-2020)
Informação sobre o tráfego de veículos (aeronave e outros) durante o <i>taxiing</i> e as operações na pista é apresentado no cockpit do condutor.
Objetivo: Aumentar a segurança e eficiência.
AUO-0401 Air Traffic <i>Situational Awareness</i> (ATSAW) on the Airport Surface (2013-2018)
Melhorar a <i>Situational Awareness</i> e segurança na placa, melhorar as condições de <i>taxiing</i> , reduzir os pedidos de informação do controlador e piloto. A informação sobre a posição da aeronave e outros veículos está disponível no <i>cockpit</i> .
Objetivo: Melhorar a segurança e reduzir o tempo de <i>taxi</i> , particularmente em situações de baixa visibilidade e à noite.

De modo a atingir os objetivos definidos, para cada passo foram identificadas algumas melhorias operacionais mais específicas (Anexo 1). Algumas medidas incluem o controlo e seguimento de veículos e aeronave na placa, através de sistemas como o A-SMGCS, a melhoria dos sistemas de vigilância, como o WAX, ou a melhoria das infra-estruturas de comunicação na placa, com a introdução do WIMAX.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é avaliar um conjunto de soluções tecnológicas que permitam ao Aeroporto de Lisboa determinar o posicionamento de veículos, equipamentos e pessoas – *Situational Awareness* – na placa do aeroporto, durante o processo de assistência à aeronave e de acordo com os requisitos definidos no SESAR, de modo a fazer uma recomendação sobre a opção tecnológica a aplicar.

1.3. Metodologia

Inicialmente fez-se uma revisão da literatura tendo em conta o estudo do sistema aeroportuário, mais especificamente ao nível do processo de assistência em terra de aeronaves (*turnaround*). Em simultâneo efetuou-se uma revisão e caracterização das tecnologias de posicionamento existentes.

Através de entrevistas, tendo em conta as necessidades encontradas no Aeroporto de Lisboa e as características das tecnologias, foram identificados os fatores de decisão que determinariam a escolha de uma solução tecnológica adequada. Foi então possível definir um conjunto de opções tecnológicas possíveis de aplicar no Aeroporto de Lisboa, bem como definir os critérios de avaliação de tecnologias mais adequados ao caso de estudo.

Aplicando um método de avaliação multicritério, através do *software* de apoio à decisão M-MACBETH, fez-se uma avaliação das opções tecnológicas, chegando-se a uma hierarquia de opções tecnológicas possíveis de aplicar ao Aeroporto de Lisboa.



Figura 8 - Metodologia aplicada na Dissertação.

1.4. Estrutura

Capítulos
1. Introdução
De acordo com a iniciativa “Céu Único Europeu” (SES), através do SESAR, foram propostas algumas alterações operacionais a aplicar nos aeroportos, de modo a melhorar a <i>Situational Awareness</i> dos intervenientes nas operações aeroportuárias. Assim sendo, através da análise multicritério, com o apoio do <i>software</i> M-MACBETH, pretende-se avaliar um conjunto de soluções tecnológicas que permitam ao Aeroporto de Lisboa determinar o posicionamento de veículos, equipamentos e pessoas na placa do aeroporto, durante a assistência em terra.
2. O Sistema Aeroportuário
Num aeroporto existe uma grande variedade de agentes que intervêm em diversas funções e operações, como as companhias aéreas, os controladores de tráfego aéreo, os operadores aeroportuários e os operadores de assistência em terra. Na atividade de assistência em terra existe a necessidade de melhorar o conhecimento do posicionamento dos intervenientes (área operacional <i>OFA01.02.02 Enhanced Situational Awareness</i>).
3. Tecnologias de posicionamento
Os sistemas de posicionamento surgiram da necessidade de localizar pessoas e equipamentos, evoluindo para diversas aplicações, ao longo dos tempos. Os avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de diferentes sistemas de posicionamento, como o GPS (<i>Global Positioning System</i>), a deteção por vídeo ou as redes sem fios, possíveis de aplicar a um aeroporto.
4. O Apoio à Decisão
A tomada de decisão é um processo complexo que implica a colaboração entre todos os intervenientes, principalmente quando existem diversos critérios de avaliação a considerar. A análise multicritério de alternativas e a utilização de um sistema de apoio à decisão permite aos decisores avaliar as alternativas mais facilmente.
5. O Aeroporto de Lisboa
O aumento do tráfego aéreo no Aeroporto de Lisboa implicará a aplicação de melhorias propostas pelo SESAR, a nível tecnológico, de modo a melhorar a eficiência das operações em terra. Neste sentido, foram identificados os intervenientes do processo de <i>turnaround</i> na placa do Aeroporto de Lisboa. Simultaneamente fez-se um levantamento das tecnologias já existentes e identificou-se as necessidades de melhoria da <i>Situational Awareness</i> na área da placa.
6. Avaliação de Opções Tecnológicas
Definindo as opções tecnológicas e os critérios de avaliação, foi possível através do <i>software</i> M-MACBETH, avaliar as opções tecnológicas. Chegou-se a uma hierarquia de opções tecnológicas que permitiu fazer uma recomendação quanto à melhor opção a adotar no Aeroporto de Lisboa: 1º GPS+RFID, 2º GPS+Vídeo, 3º GPS+Bluetooth e 4º GPS+WiFi.
7. Conclusão
Concluiu-se que a alternativa recomendada a aplicar no Aeroporto de Lisboa seria a combinação do sistema GPS com a RFID. Contudo, ao verificar que os resultados das pontuações globais de cada opção eram muito próximos, todas as opções seriam igualmente interessantes, destacando-se a opção GPS e Vídeo.

2 O Sistema Aeroportuário

2.1. Áreas de um Aeroporto

O sistema aeroportuário é constituído por um conjunto de organizações e agentes que contribuem para a movimentação de pessoas e bens por todo o mundo. Neste sentido, o seu bom funcionamento implica um planeamento adequado, visto que operações ineficientes ou falhas operacionais no sistema provocam gastos adicionais, tempo perdido dos passageiros e custos logísticos acrescidos [15].

Um aeroporto é uma infraestrutura de transporte que serve as aeronaves, os passageiros, a carga e os veículos à superfície [16]. Representa então o espaço físico de interação entre diversos agentes, nomeadamente as companhias aéreas, os gestores aeroportuários e os passageiros.

A complexidade de um aeroporto depende da sua dimensão, capacidade e conseqüentemente do tráfego aéreo esperado para o mesmo. Neste sentido, e para que um aeroporto funcione de forma eficiente, é necessário que as suas infra-estruturas sejam adequadas, o que por vezes implica grandes investimentos.

Num aeroporto, é possível identificar duas áreas principais onde decorrem as operações: o lado terra e o lado ar. Segundo o ICAO, o lado ar é considerado a área contígua que engloba a placa e as zonas que servem para o movimento, assistência e carregamento de aeronaves [17]. Por outro lado, o ICAO define o lado terra como os terminais de passageiros e de carga e as restantes zonas não consideradas lado ar [17]. Assim sendo, o lado terra inclui os serviços de *check-in*, recolha de bagagem e controlo de passaportes [12]. Nesta área ocorrem as atividades relacionadas com operações de passageiros e uma série de serviços aos clientes, em termos de comércio e transportes. Existem também negócios associados ao funcionamento do aeroporto (concessões e empresas de *leasing*) e as funções governamentais (alfândega) [18]. O lado ar de um aeroporto está dividido por uma série de áreas (Quadro 3), de segurança mais apertada, e permite efetuar todas as atividades relacionadas com a movimentação e serviço de aeronaves [17], como a aterragem, o *taxiing*, a descolagem e as atividades do processo de assistência da aeronave em terra. Nesta área ocorrem as atividades relacionadas com as operações das aeronaves.

Quadro 3 - Áreas do lado ar de um Aeroporto.

Designação	Definição
Placa (Aerodrome)	Área que é utilizada para a aterragem, descolagem e movimentação de aeronaves no aeroporto [19].
Pistas (Runways)	Áreas do aeroporto designadas para a aterragem e a descolagem de aeronaves [19].
Caminhos de Circulação (Taxiways)	Ligações entre as pistas, <i>gates</i> e <i>hangares</i> , onde se dá a circulação de aeronaves e carros de apoio (Faixas amarelas).
<i>Apron</i>	Área na placa onde está a aeronave durante o processo de <i>turnaround</i> , onde ocorre carregamento e descarregamento de passageiros, carga, correspondência, reabastecimento de combustível e manutenção [19].
<i>Stand</i>	Área de estacionamento da aeronave no <i>apron</i> [19].
<i>Gate</i>	<i>Stand</i> ligado por uma ponte ao terminal, pois <i>gate</i> é o nome dado à sala de espera dos passageiros no terminal. Zona de controlo de segurança e salas de espera.
<i>Hangar</i>	Edifício onde se armazena e se faz a manutenção mais pormenorizada da aeronave.

2.2. Agentes e Funções

Para que as operações decorram da melhor forma num aeroporto, existe uma série de funções a desempenhar pelos agentes do sistema aeroportuário, com vista a fornecer o melhor serviço aos passageiros. Neste sentido, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*), que publica uma série de políticas e regulamentação a ser implementada pelos estados membros na gestão dos seus aeroportos [16], identifica três intervenientes principais no transporte aéreo, que influenciam diretamente o funcionamento do sistema aeroportuário: as operações das companhias aéreas, o controlo de tráfego aéreo e as operações aeroportuárias [18]. Para além destes agentes, considera-se os operadores de assistência em terra como importantes intervenientes deste sistema, na medida em que é essencial na partilha de informação e nas operações na placa de um aeroporto [12] (Figura 9).



Figura 9 - Principais agentes do sistema aeroportuário.

Apesar de cada agente ser responsável por diferentes funções no sistema aeroportuário (Quadro 4), é a sua integração que permite atingir o objetivo comum de garantir a eficiência do sistema, melhorar o serviço prestado aos clientes e reduzir os custos associados.

Quadro 4 - Funções dos principais agentes do sistema aeroportuário.

Designação	Função
Companhias Aéreas (<i>Aircraft Operator</i>)	Gerir o horário das aeronaves e atribuir a tripulação às mesmas. Têm em vista fins comerciais. Podem ser regulares, companhias <i>low-cost</i> e companhias <i>charter</i> [18].
Controlo de Tráfego Aéreo (<i>ANSP</i>)	Controlar a aeronave no <i>taxiing</i> , na aterragem e descolagem, no terminal e no <i>en-route</i> , em coordenação com o CFMU (gestão de fluxos e atribuição de <i>slots</i>) [20].
Operadores do Aeroporto (<i>Airport Operator</i>)	Gerir as operações no aeroporto (terminal, check-in, controlo de veículos e da aeronave no <i>apron</i> , atribuição das <i>gates/stands</i> , fornecimento de autocarros de <i>transfer</i> de passageiros, operações de <i>towing</i> e fornecimento de zona de <i>de-icing</i>) e segurança [20].
Assistência em Terra (<i>Ground handling</i>)	Oferecer serviços para a aeronave, passageiros e bagagem/ carga/ correspondência (<i>catering</i> , abastecimento de combustível) [20].

2.2.1 Companhias aéreas

O objetivo principal das companhias aéreas é fazer o transporte de passageiros e carga entre os vários aeroportos de modo eficiente. As principais funções das companhias aéreas são gerir as suas receitas, atribuir horários da tripulação, atribuir voos e planejar as rotas e a manutenção de aeronaves [18]. Fazem parte das companhias aéreas a tripulação e o pessoal do cockpit, bem como o pessoal de manutenção da aeronave [12]. As companhias aéreas são agentes que atuam tanto do lado ar como do lado terra de um aeroporto pois estão relacionadas com os passageiros antes do embarque, por exemplo ao nível de compra de bilhetes e atendimento no *check-in*, até à assistência durante o voo.

2.2.2 Controlo de Tráfego Aéreo

As autoridades de controlo de tráfego aéreo, também designadas ANSP, têm como objetivo principal garantir a segurança do tráfego aéreo, mas também gerir os fluxos de aeronaves de modo a reduzir o congestionamento e os atrasos [18]. Deste modo, o controlo de tráfego aéreo aplica-se diretamente ao lado ar do aeroporto, tendo em conta a sua influência sobre a trajetória das aeronaves. Contudo, as atividades que decorrem do lado terra do aeroporto podem influenciar a gestão de tráfego efetuada pelos controladores.

2.2.3 Operações aeroportuárias

As operações aeroportuárias incluem o planeamento de fluxos e capacidade de um aeroporto, a atribuição de caminhos de circulação na placa, a atribuição de *gates* e também o planeamento no terminal [18]. O operador aeroportuário é responsável por garantir os recursos humanos para a atividade de *De-icing*, pelas previsões meteorológicas, pela assistência a pessoas com mobilidade reduzida e ainda pelo pessoal que garante a segurança dos passageiros no aeroporto [12]. Este agente exerce funções tanto do lado terra como do lado ar do aeroporto.

2.2.4 Assistência em Terra

As operações de assistência em terra (*Ground Handling*) de uma aeronave implicam a existência de colaboração entre os principais agentes aeroportuários, na medida em que implicam a realização de uma série de atividades de apoio, que dependem da comunicação e cooperação entre os agentes. A assistência em terra é a assistência dada a uma aeronave quando aterra, e é uma função que permite apoiar o processo de *turnaround*² de uma aeronave. Este processo compreende o conjunto de operações que decorrem desde que a aeronave chega ao *stand* (AIBT) até ao momento em que esta o deixa (AOBT) (Figura 10) [20]. Assim sendo, inclui uma série de atividades, executadas por vários intervenientes, por vezes em simultâneo, que permitem preparar a aeronave para o voo seguinte em condições de segurança.

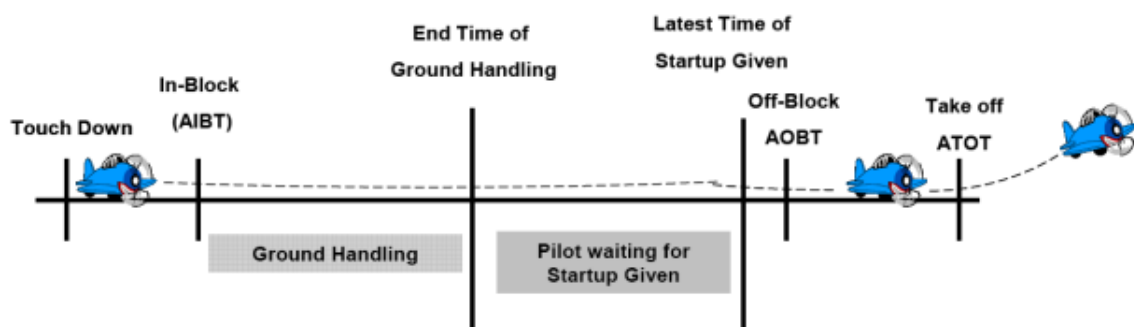


Figura 10 - Período de tempo de *turnaround* de uma aeronave.

Fonte: TITAN_D3.1 "Validation-strategy", ISD, version1.0, July 2010 [21].

² *Turnaround* refere-se nesta Dissertação ao processo também designado por *Rotação*, por ser o nome internacional do processo e existirem mais referências bibliográficas com esta designação.

Apesar da iniciativa “Céu Único Europeu” pretender contribuir para uma maior uniformização de regulamentação a nível europeu, ainda não é possível considerar um processo de *turnaround standard* em toda a Europa [12]. Contudo, apesar das diferentes regulamentações, é possível considerar uma série de atividades principais envolvidas no processo (Figura 11) [20]:

A partir do momento em que a aeronave tem autorização para aterrar no aeroporto, existe uma série de recursos que têm que estar prontos para a acolher em terra, de modo a iniciar-se o processo de *turnaround* e executá-lo o mais rapidamente possível. Assim sendo, quando a aeronave aterra, inicia-se o contacto entre o pessoal de terra e o piloto (*marshalling*), e a aeronave segue as direções dadas pelo *marshaller* que se encontra num carro “Follow-me”, e que direciona a aeronave para o *stand* atribuído. Este circuito até ao *stand* é feito pelos *taxiways* (caminhos de circulação), indicados a amarelo na placa.

1. Chegada da aeronave ao *stand* - Quando a aeronave chega ao *stand*, é indicado ao piloto que pare e desligue os motores;
2. Colocação de calços à frente das rodas da aeronave - Quando a aeronave está *In-block*, são introduzidos os calços nas rodas da aeronave para que esta não se mova, juntamente com os cones de segurança. Neste momento, os veículos de apoio às diversas atividades do *turnaround* devem dirigir-se para perto da aeronave e colocar-se na posição indicada para iniciar o serviço;
3. Fornecimento de Energia - Como os motores da aeronave se encontram desligados, é necessário que haja um fornecedor de energia eléctrica externo à aeronave, através de GPU (*Ground Power Unit*) ou fornecimento eléctrico por cabo, através de uma central. Por outro lado, de modo a manter o sistema de refrigeração da aeronave a funcionar, quando a aeronave está muito tempo sem energia, é necessário unidades de aquecimento/ arrefecimento para manter a temperatura da aeronave no interior;
4. Descarregamento de passageiros e bagagem - Depois de a aeronave estar no *stand* (plataformas da placa), começa o processo de assistência em terra, iniciado pelo desembarque de passageiros. Se a aeronave se encontra nas plataformas da zona de ligação ao terminal, o desembarque de passageiros dá-se através de uma ponte, diretamente para o terminal. Caso a aeronave se encontre numa plataforma na zona remota da placa, o desembarque de passageiros processa-se através de escadas ligadas à aeronave e os passageiros têm que ser recolhidos por um autocarro de transporte que os leve até ao terminal;

Em simultâneo ao desembarque de passageiros, é possível abrir as portas de carga e iniciar o descarregamento da carga transportada. A carga que não é bagagem de passageiros é transportada para o terminal de carga.

A bagagem é movimentada pelos *handlers* de bagagem, que a recolhem através de cintas de carregamento (*belts* ou tapetes) que ligam a aeronave até ao carro de bagagem. Os carros de bagagem são constituídos por um rebocador e um atrelado que transporta a bagagem. Depois do desembarque dos passageiros, estes seguem para a zona de recolha de bagagem.

5. Administração pós-voo: preparação e entrega de documentos de voo;
6. Administração pré-voo: preparação de documentos para o próximo voo;
7. Reabastecimento de combustível - O serviço de reabastecimento de combustível é efetuado por um camião ou através de depósitos de combustível, fazendo-se o reabastecimento por um tubo ligado diretamente ao depósito. No processo de reabastecimento é necessária a presença de um carro de bombeiros no local, por razões de segurança.
8. Reabastecimento do *catering* - Simultaneamente, é possível reabastecer a aeronave de alimentos, através dos camiões de *catering*;
9. Limpeza da aeronave - Quando os passageiros desembarcam, é possível iniciar os serviços de limpeza interior da aeronave, bem como a reorganização dos lugares dos passageiros e o reabastecimento de mantas ou outros materiais. Estes serviços têm o apoio de um camião de limpeza;
10. Esvaziamento da água dos WCs;
11. Fornecimento de água potável;
12. Verificações de segurança - No exterior da aeronave, ocorre uma série de verificações de manutenção, por exemplo aos pneus, rodas e ao exterior da aeronave, e faz-se a verificação de segurança de alguns problemas que a cabine tenha detetado durante o voo.

Durante todo este processo, está a decorrer no terminal do aeroporto o *check-in* dos passageiros que pretendem embarcar na aeronave. Assim sendo, as bagagens entregues aquando do *check-in* seguem o processo inverso ao descrito acima, de modo a poderem ser carregadas para a aeronave. O mesmo processo acontece com a carga.
13. Carregamento de passageiros e bagagem - Quando se dá o embarque de passageiros, a carga e bagagem são carregadas e verifica-se se estão todos os passageiros presentes na aeronave. Seguidamente as portas são fechadas e os veículos de apoio regressam à zona de parque e os equipamentos do *turnaround* são recolhidos de modo a permitir a movimentação da aeronave;

14. Remoção de gelo/ neve da aeronave (químicos líquidos) - Por vezes, a aeronave antes da descolagem é sujeita a um processo de *de-icing* (remoção de neve, gelo ou geada) que decorre através de um veículo de *de-icing*, numa plataforma na zona de circulação. A projeção de químicos para a aeronave permite retardar a formação de gelo, aumentando a segurança da aeronave;
15. Remoção dos calços;
16. A aeronave deixa o stand - Quando a aeronave está pronta e com autorização de *start-up*, é acoplado à aeronave um veículo de *push-back* que permite à aeronave movimentar-se sem os motores estarem ligados: *Off-Block*, e retiram-se os calços. Seguidamente o piloto recebe autorização para o *taxiing* e dirige-se para a zona de descolagem.

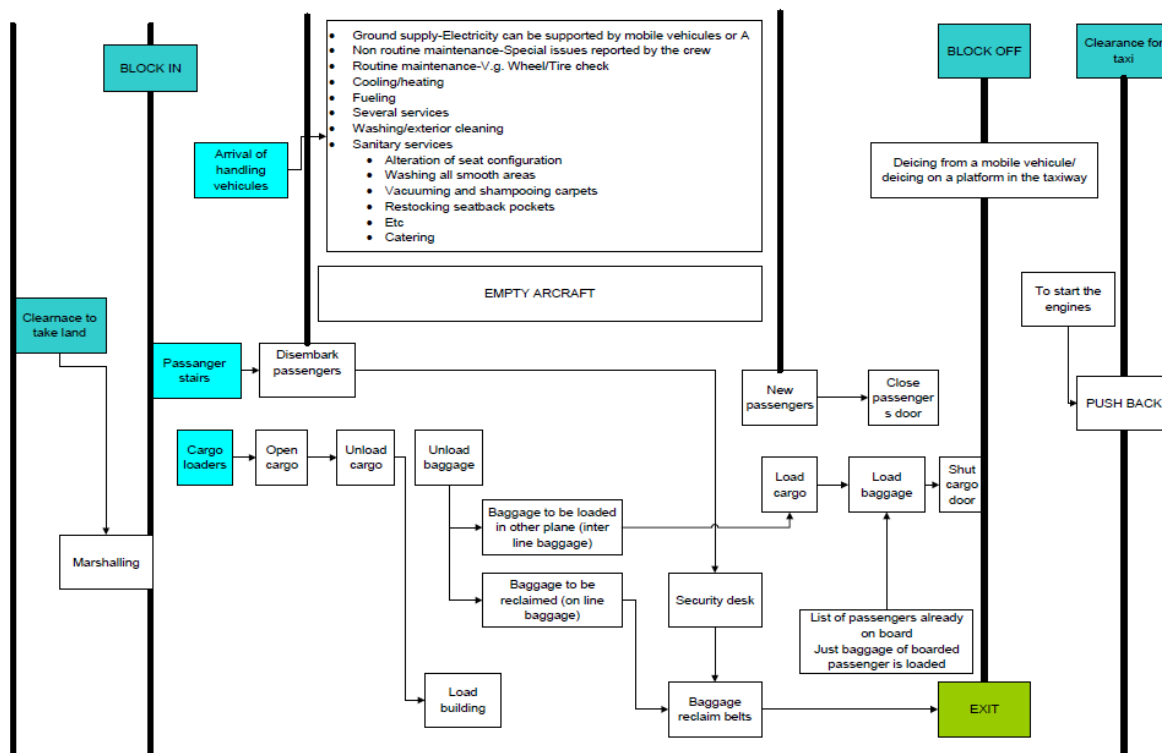


Figura 11 - Processo típico de *turnaround*, incluindo as principais atividades envolvidas.

Fonte: TITAN D1.1 "Analysis of the current situation", SLOT Consulting, version 1.0, May 2010 [20].

O envolvimento de muitas entidades no processo de *turnaround*, direta ou indiretamente, pode provocar conflitos que aumentam o tempo de *turnaround*. Pode verificar-se durante este processo o envolvimento de uma grande variedade de veículos, equipamentos (Figura 12) e pessoas, que podem

reduzir a eficiência do processo. Assim sendo, a eficiência de cada atividade tem um impacto direto no tempo de *turnaround* de uma aeronave.

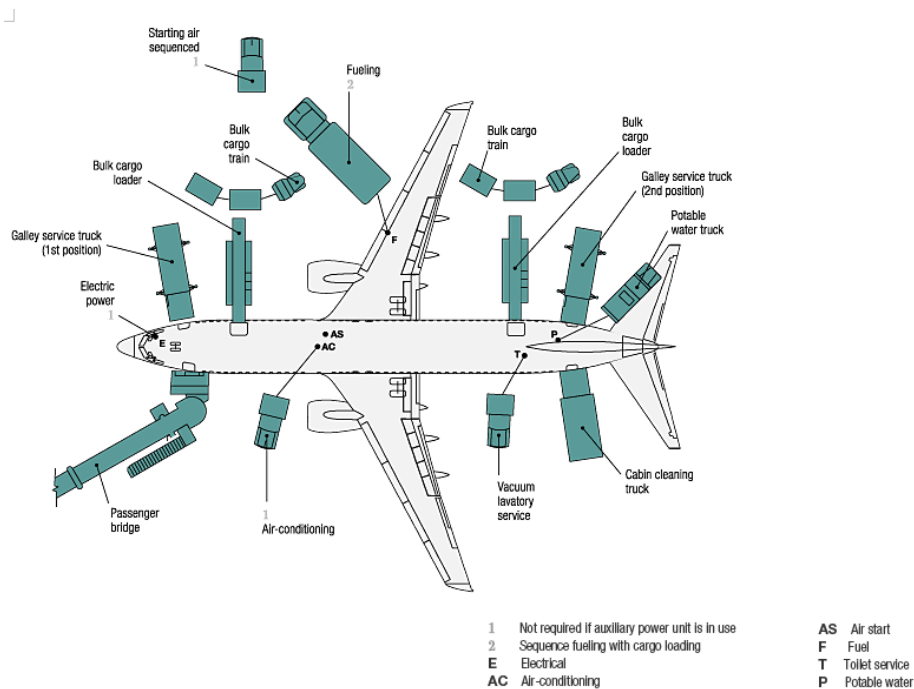


Figura 12 - Típico serviço de Turnaround de um Boeing 737 de última geração.

Fonte: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_08/pdfs/AERO_Q408_article04.pdf [22].

Para coordenar as atividades e aumentar a sua eficiência, as atividades de assistência em terra devem ser monitorizadas pelo ASRS (*Air Safety Reporting System*) que reporta todos os eventos de cada atividade [12]. Se existirem atrasos num determinado evento (por exemplo no abastecimento de combustível), o tempo estimado de duração de *turnaround* é atualizado no ASRS, relativamente ao previsto inicialmente.

Em relação ao carregamento e descarregamento de carga ou correspondência, a informação relativa a atrasos deve ser fornecida pelo *Cargo/Mail Flow Information Service (CMFIS)* [12]. Deste modo, a inexistência de veículos de carga na hora estimada, pode ser solucionada através da verificação de existência de transporte alternativo.

No *cockpit* é recebida a informação relativa ao tempo de *off-block* através do ASRS, sendo que uma mensagem é transmitida pelo controlador relativa ao *start-up/ pushback*. Depois de aceite pelo controlador, a autorização de *start-up/ pushback* é enviada ao *cockpit* e ao coordenador em terra (*Ground Handler*). O piloto recebe então a autorização e o caminho de circulação, seguindo-se o *push-back*. O cockpit é responsável por informar sobre a necessidade de *de-icing* da aeronave [12].

O tempo habitual de *turnaround* para aeronaves que transportam passageiros pode variar entre 20 minutos e 3 horas, dependendo do tamanho da aeronave, do seu trajecto, do número de passageiros, do volume de carga a ser carregado/ descarregado, das operações envolvidas e da estratégia do operador aeroportuário (pode considerar maiores tempos de *turnaround* de modo a gerir melhor os efeitos dos atrasos). Assim sendo, a eficiência deste processo é determinante para aumentar ou recuperar os atrasos globais da aeronave no aeroporto [20].

2.2.5 *Situational Awareness*

“O Aeroporto Inteligente utiliza a tecnologia para seguir, gerir ou partilhar informação em tempo real” [68]. Neste sentido, é um aeroporto que proporciona aos seus utilizadores uma consciência situacional de todos os bens e recursos que lhe são disponibilizados, permitindo a colaboração entre todos os *stakeholders*, através da partilha de dados relacionados com as atividades operacionais, em tempo real.

Tendo em conta o problema de congestionamento verificado nos aeroportos, devido aos atrasos verificados em terra, a iniciativa do “Céu Único Europeu” introduziu o conceito de melhoria da *Situational Awareness*, isto é, o conhecimento por todos os agentes aeroportuários da trajetória de uma aeronave e de todas as atividades envolvidas.

Baseando-se na partilha de informação entre agentes, este conceito surgiu no intuito de aumentar a eficiência dos serviços aeroportuários, de modo a reduzir os atrasos das aeronaves e garantir uma utilização eficiente de recursos físicos e humanos nas operações. No sentido de aplicar este conceito, de modo a monitorizar a evolução dos processos e prever eventos futuros ou formas de mitigar os atrasos, definiram-se *Milestones*, isto é, eventos importantes que ocorrem durante o planeamento ou progresso de uma aeronave, ao longo da sua trajetória [12].

O Quadro 5 permite verificar, ao longo da trajetória da aeronave, e tendo em conta os *Milestones* definidos, os momentos de partilha de informação e atividades, bem como os seus intervenientes, os veículos e equipamentos envolvidos, e alguns requisitos decorrentes das atividades do processo de *turnaround*.

De modo a aumentar a eficiência do processo de *turnaround*, responsável por grande parte dos atrasos, devido à variedade de intervenientes e atividades envolvidas, e por outro lado, de modo a aumentar a segurança das operações, identificou-se a necessidade de melhorar a *Situational Awareness* na placa. Deste modo, o conceito de *Situational Awareness* (Área Operacional com designação *OFA01.02.02 Enhanced situational awareness*) foi aplicado à necessidade de saber o posicionamento em tempo real de pessoas, equipamentos e veículos na área da Placa de um aeroporto, contribuindo para aumentar a eficiência das operações, reduzindo os tempos perdidos e consequentemente, reduzindo os custos.

Quadro 5 - A-CDM Milestones, partilha de informação, atividades e intervenientes.

Fonte: TITAN D1.4 "Operational Concept Document (Issue 1)", INECO, Version 1.0, October 2010 [12].

A-CDM Milestones (Eventos importantes na partilha de informação do TITAN)	Partilha de Informação e Atividades		Tempo	Intervenientes nas Atividades			
				Recursos Humanos	Veículos	Equipamentos	Requisitos
M1. Activação do Plano de Voo pelo ATC	A informação sobre o voo é actualizada e começa o processo de DPI. Se existe um atraso, a mensagem DLA é necessária; Todas as unidades envolvidas recebem o FPL.		3h antes do EOBT	Network Operations			
M2. Alocação do CTOT	Atualização do ELDT. CTOT enviado para as unidades ATS.		EOBT- 2h	Network Operations			
M3. <i>Take off</i> do aeroporto de origem	O ADES, situado a mais de 3 horas de voo, recebe o ATOT e o ELDT pode ser calculado utilizando o tempo perdido estimado no FPL. O ADES, a menos de 3 horas de voo, recebe mensagens actualizadas sobre o voo, seguindo o progresso da aeronave.			Network Operations ou Aircraft Operator/ Ground Handler			
M4. Entrada na FIR / ATC local	Atualização do ELDT; EIBT baseado no ELDT e no tempo estimado de <i>Taxi-in</i> .			Area Control Centre			
M5. Abordagem à pista	Atualização do ELDT mais preciso; Preparação dos intervenientes e movimentação de recursos relacionados com o voo (<i>parking e Ground handling</i>).		2-5 min. antes de aterrar	Air Traffic Control			
M6. Aterragem (ALDT)	Atualização de TOBT, TTOT e EIBT. <i>A aeronave segue os veículos follow-me;</i>			Condutor do <i>Follow-me</i>	Carro <i>Follow-me</i>		A aeronave segue os veículos <i>Follow-me</i> nos <i>taxiways</i>
M7. In-Block (AIBT)	Ground Handling	<i>Flight Dispatcher</i>	<ul style="list-style-type: none"> TOBT e TTOT automaticamente atualizados. <i>Introdução dos calços (chocks-in);</i> 	Colocador dos calços		Calços	
		<i>Ground Handling</i>	<ul style="list-style-type: none"> ETTT/ TOBT e TTOT atualizados; <i>Check-in</i> de informação da bagagem; <i>Checkpoints</i> de passagem da bagagem. 				
		<i>Catering</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Início de catering;</i> <i>Fim de catering.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Condutores dos veículos Tripulação da aeronave 	<ul style="list-style-type: none"> Camiões de <i>catering</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de levantamento Carts/ Trolleys 	Refeições preparadas fora da placa.
M8. Início da Assistência em Terra		Limpeza e fornecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> <i>Início de limpeza: interna e dos tanques da água de saneamento;</i> <i>Fornecimento de água potável</i> <i>Fim da limpeza – O agente está fora da aeronave.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Tripulação da aeronave Condutores dos camiões de limpeza Equipa de fornecimento de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> Camião com bomba de drenagem Veículo de fornecimento de materiais Camiões com bomba de água 	<ul style="list-style-type: none"> Carts puxados por rebocador 	

						potável		
		Energia eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Início de fornecimento de energia eléctrica; Fim de fornecimento de energia eléctrica. 		<ul style="list-style-type: none"> Operações 		GPU – <i>Ground Power Units</i>	
		Operador de Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> Localização de escadas ou ponte; Início de desembarque. 		<ul style="list-style-type: none"> Agentes de segurança Colocadores de escadas/ ponte 	Autocarro de passageiros (escadas)	<ul style="list-style-type: none"> Escadas Ponte 	
M9. Atualização Final do TOBT		<i>Aircraft Operator e Ground Handling</i>	<ul style="list-style-type: none"> Atualização final do TOBT; Atualização do TTOT Voo incluído na sequência <i>pre-departure</i>. 	t min. antes de EOBT				
M10. ATC emite o TSAT	ANSP	<i>Ground Controller</i>	<ul style="list-style-type: none"> Atualização do TTOT e aeronave incluída na sequência <i>pre-departure</i>, quando decorrem as atividades do <i>turnaround</i>. 	t min. antes de EOBT				
M11. Início do Embarque	<i>Ground Handling</i>	Agente de passageiros	<ul style="list-style-type: none"> Abertura da gate; Indicação de se o TOBT/ TSAT será respeitado; Fim de embarque. 	t min. antes do TOBT	<ul style="list-style-type: none"> Agentes de segurança Colocadores de escadas/ ponte 	Autocarro de passageiros (escadas)	<ul style="list-style-type: none"> Escadas Ponte 	
M12. Aeronave pronta	<i>Aircraft Operator</i>	<i>Cockpit</i>	<ul style="list-style-type: none"> Verificação de necessidades de combustível e de tipo de energia eléctrica (APU ou fornecimento exterior); Verificação visual exterior; Reportar danos. 					
	<i>Ground Handling</i>	Operador de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> Reparação de pequenos danos; Fim de verificações de segurança da aeronave no Apron/ Stand; Gate fechada, ponte de embarque removida, veículo de push-back ligado e pronto para taxiing. 		Pessoas da manutenção	Veículo de manutenção		
M13. Pedido de <i>Start up</i>	<i>Aircraft Operator</i>	<i>Cockpit</i>	<ul style="list-style-type: none"> Pedido de autorização de <i>push-back</i>. 					
M14. Aprovação do <i>Start-up</i> (ASAT)	<i>Ground Handling</i>	Operador de equipamentos	<i>Start-up</i> da aeronave, <i>push-back</i> .		Condutor do veículo	Veículo de <i>push-back</i>		
M15. <i>Off-Block</i>		Operador de equipamentos	AOBT (<i>Push-Back</i>) e atualização do TTOT.		Condutor do <i>Follow-me</i>	Carro <i>Follow-me</i>		Circula nos <i>taxiways</i>
M16. <i>Take Off</i>	ATOT; Mensagens FSA e MVT enviadas.							
M17. Encerramento do Check-in	<i>Ground Handling</i>	<i>Passenger Agent</i>	<ul style="list-style-type: none"> Abertura do <i>Check-in</i>; Encerramento do <i>Check-in</i> 					
M18. Último passageiro a passar a segurança	<i>Airport Operator</i>	Segurança	<ul style="list-style-type: none"> Último passageiro a passar a segurança. 					
M19. Último passageiro a passar o controlo de passaportes		Segurança	<ul style="list-style-type: none"> Último passageiro a passar o controlo de passaportes. 					

M20. Fim do desembarque	Aircraft Operator	Cabine	<ul style="list-style-type: none"> Desembarque de passageiros; Fim do desembarque; Início das atividades de <i>Ground Handling</i>. 		<ul style="list-style-type: none"> Agentes de segurança Colocadores de escadas/ ponte 	Autocarro de passageiros (escadas)	<ul style="list-style-type: none"> Escadas Ponte 	
M21. Última entrega de bagagem para espera na zona de bagagem	Airport Operator	Airport Operator	<ul style="list-style-type: none"> Gate e stand alocado a cada voo; Zona de bagagem alocada a cada voo; Abertura de portas de carga; Última entrada de bagagem para espera na zona de bagagem. 		<ul style="list-style-type: none"> Condutores dos veículos de carga e dos rebocadores Handlers de bagagem. 	<ul style="list-style-type: none"> Carts de bagagem Belt de carregamento Rebocadores de ULDs (contentores) e de paletes (carga) 	<ul style="list-style-type: none"> ULDs Paletes 	<ul style="list-style-type: none"> Circulam nos corredores de circulação Existe uma área de transferência de bagagem (TBT)
M22. Fim de descarga de bagagem	Fim de descarga de bagagem - Fim de bagagem entregue no tapete de bagagem.							
M23. Encerramento de portas de carga	Ground Handling	Agente de Carga	<ul style="list-style-type: none"> Início do carregamento de bagagem em espera; Encerramento de portas de carga - Fim do carregamento de bagagem/ carga. 					
M24. Início de abastecimento combustível		Fuel Provider	<ul style="list-style-type: none"> Início do abastecimento de combustível – Necessidade de avisar Bombeiros; Fim de abastecimento de combustível. 		Bombeiros	Carros de Bombeiros		Obrigatório se passageiros estão dentro do avião
M25. Remoção de <i>push back</i>		Operador de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> Remoção do <i>push-back</i> – A aeronave pode mover-se por si. 		Condutor do veículo	Veículo de <i>push-back</i>		
M26. Fim de <i>de-icing</i>	Airport Operator	Staff de <i>De-icing</i>	<ul style="list-style-type: none"> Início de <i>de-icing</i>; Fim de <i>de-icing</i>. 		Condutor do veículo	Veículo de <i>De-icing</i>		

***Atividades associadas ao processo de Turnaround e que decorrem na Placa**

M1 a M16 – A-CDM Milestones.

M17 a M26 – TITAN Milestones relacionados com o processo de *turnaround*.

3 Tecnologias de posicionamento

3.1 Sistemas de posicionamento

O desenvolvimento de sistemas de posicionamento surgiu da utilidade de localizar pessoas e equipamentos, conhecendo a sua posição no espaço e a sua interação com a envolvente. Assim sendo, hoje-em-dia existem diversas tecnologias que permitem determinar o posicionamento de um objeto ou pessoa, tendo a utilização destes sistemas de posicionamento sido alargada a diversas aplicações. Os sistemas de posicionamento têm sido aplicados, por exemplo, nas forças de segurança, na localização de bombeiros durante incêndios e na localização de pessoal médico ou equipamentos em hospitais [23]. A nível industrial, estes sistemas são muito utilizados nas áreas da logística e otimização de sistemas, onde é essencial obter informação sobre a localização de pessoas e bens [24], nomeadamente a localização de produtos em armazéns ou a localização de ferramentas de manutenção [23]. Tendo por base a localização geográfica de um dispositivo móvel, foi ainda possível fornecer diversas informações às pessoas, como é o caso das informações meteorológicas recebidas num telemóvel. Os sistemas de posicionamento permitiram então melhorar as operações de empresas e indústrias, otimizando os seus processos, mas também melhorar a segurança das pessoas.

Um sistema de posicionamento é um sistema que permite determinar a posição de um *objeto*. Assim sendo, está associado ao *objeto*, habitualmente ligado a um equipamento, veículo ou pessoa que se pretende localizar, e é composto pelo equipamento que permite processar a informação de posicionamento e localizar o *objeto*. Os sistemas de posicionamento podem transmitir a informação de posicionamento de diversas formas. No caso de ser um sistema de posicionamento remoto, o transmissor de sinal é móvel e existem várias unidades de medição fixas que recebem o sinal transmitido (Ex: localização de uma aeronave num aeroporto). No caso de ser um sistema de auto-posicionamento, a unidade de medição é móvel e recebe o sinal transmitido por diversos transmissores que se situam em posições conhecidas (Ex: localização por telemóvel).

De modo a determinar a posição de um objeto, independentemente do sistema de transmissão de informação utilizado, existem diversas tecnologias de posicionamento que se pode utilizar. No entanto, as tecnologias existentes funcionam de maneira diferente em ambientes *outdoor* (exterior) e *indoor* (interior), pelo que a adequação das mesmas a cada situação é essencial. Em ambientes *outdoor*, a utilização de GPS (*Global Positioning System*) é adequada, sendo o sistema mais utilizado. Contudo, neste caso a transmissão de informação pode ser dificultada pelos “obstáculos” encontrados entre o satélite e o recetor, nomeadamente em zonas cobertas ou subterrâneas, de floresta e onde a densidade de nuvens é maior, reduzindo a qualidade da informação. Em ambientes *indoor* a utilização de GPS é inadequada, ou mesmo bloqueante, no caso dos edifícios onde o sinal de GPS não consegue chegar ao recetor, pois a diversidade de “obstáculos” existentes entre o

recetor e o satélite é maior (paredes, equipamentos e pessoas). Adicionalmente, a propagação das ondas eletromagnéticas pode sofrer interferências de outras redes (*wireless*) ou interferências *multi-path* [25], quando o mesmo sinal faz percursos diferentes chegando ao destino em instantes diferentes, eventualmente com características diferentes. Contudo, em ambientes *indoor* as áreas de cobertura são menores, existe menor influência das condições meteorológicas e pode haver acesso à internet e a energia [24], oferecendo mais opções tecnológicas. Deste modo, o ambiente em que a tecnologia de posicionamento vai funcionar é um fator determinante na escolha da melhor tecnologia para uma determinada aplicação.

3.2 Processos de estimação de posição

Os sistemas de posicionamento permitem obter informação sobre a localização de objetos e pessoas através das seguintes técnicas que permitem medir ou estimar a posição:

- Triangulação - A triangulação usa as propriedades geométricas de triângulos (ângulos e distâncias) para determinar a posição de um *objeto* [23].

O método de triangulação pode ter duas abordagens: A lateração e a angulação. A lateração permite estimar a posição de um objeto medindo as distâncias (comprimento do vetor) desse objeto a múltiplos pontos de referência [23] de coordenadas geográficas conhecidas (Exemplo: GPS). A precisão desta técnica aumenta quando se utiliza mais pontos de referência [25]. Usualmente, a posição 2D/ 3D é inferida medindo duas/três ou mais distâncias a partir de nós das proximidades [24], podendo considerar-se trilateração ou multilateração. A angulação determina a posição dos objetos com base nos ângulos definidos entre o objeto e múltiplos pontos de referência [23] com coordenadas geográficas conhecidas.

- Proximidade – O método de proximidade aloca à estação base mais próxima o *objeto* pretendido [25].

Os algoritmos de proximidade fornecem informação relativa e simbólica de posicionamento. Quando mais do que uma antena (transmissor) deteta o objeto móvel, considera-se que o objeto se localiza perto da antena que recebe o sinal mais forte, ou na intersecção dos sinais com mais força. Este método é relativamente simples de implementar, nomeadamente em sistemas que utilizam radiação infravermelha (IR), identificação por radiofrequência (RFID) ou os métodos *Cell Identification* (Cell-ID) ou *Cell of Origin* (CoO) [23]. O método CoO permite determinar a posição de pontos âncora onde o sinal mais forte é recebido. É um método simples que pode ser aplicado quando não é necessário muita precisão na determinação do posicionamento, em sensores de deteção de contacto, sistemas de identificação automática e em sistemas de posicionamento móveis sem fios [24].

- Fingerprinting - Faz uma ponderação dos sinais recebidos de um *objeto* para identificar a sua posição numa grelha [25].

A técnica de *fingerprinting* ou *scene analysis* calcula a posição de recursos num espaço físico, comparando as medições de um conjunto de sinais com informação de medições feitas *a priori* relacionadas com localizações particulares [25]. Estas técnicas podem basear-se em radiofrequência (RFID), recolhendo características (*fingerprints*) de uma cena e estimando a localização de um *objeto*, ligando medições *online* à localização mais próxima *a priori* das *fingerprints* [23]. O método de Fingerprinting pode ser efetuado por RSS, por imagens acústicas ou visuais, podendo atingir níveis de precisão na ordem dos 2 a 50 metros [24]. Inicialmente são feitos mapas empíricos ou em computador do cenário em análise e depois há a receção do sinal de múltiplas estações dentro de um edifício, sendo estes sinais armazenados numa base de dados. Seguidamente compara-se o mapa com os sinais recebidos [24]. Apesar de ser uma técnica bastante precisa, está dependente do sinal emitido pelos equipamentos, que pode ser afetado por difração e reflexão em ambientes *indoor* [25].

- Vision Analysis - Utiliza captura de imagens ou vídeo para, através de computador, posicionar os *objetos* num ambiente conhecido [25].

A técnica de *vision analysis* analisa imagens recebidas de um ou mais pontos de captura, por exemplo através de câmaras de vigilância. Este método envolve um esforço inicial elevado pois apoia-se em equipamentos de monitorização. Por outro lado, é um método que reduz a privacidade e implica a atualização da informação de base do ambiente, se se observarem alterações no mesmo [25].

Existem, para além destes, outro métodos que permitem saber o posicionamento de pessoas ou veículos. Exemplo disso é o método *Dead Reckoning*, que permite estimar a posição, baseando-se em posições ou velocidades conhecidas anteriormente. Pode ser aplicado usando sensores inerciais de navegação ou acelerómetros. A desvantagem deste processo é a imprecisão do processo ser cumulativa, pois novas posições são calculadas a partir de posições anteriores [24].

3.3 Tecnologias

A variedade de sistemas de posicionamento existente implica uma avaliação cuidada às suas características, de modo a escolher a que melhor se adequa a cada situação. Aliás, não existe uma única tecnologia de localização que é adequada a qualquer situação e apresenta elevada precisão, baixo custo e cobertura total. Por exemplo, elevada precisão e cobertura, raramente coexistem na mesma tecnologia, e quando existe implica custos elevados [26]. Assim sendo, a seleção de tecnologias é um processo complexo que exige o conhecimento das características tecnológicas, mas também o contexto em que vão ser aplicadas.

Alguns exemplos de tecnologias de posicionamento são o sistema GPS, a detecção por vídeo e as redes sem fios de transmissão de dados, como o Wi-Fi, o Bluetooth ou a RFID. Cada uma destas tecnologias apresenta características diferentes. No entanto, quando combinadas, podem conduzir a soluções melhores para as aplicações consideradas.

3.3.1 Sistema GPS

Global Positioning System (GPS) ou *Global Navigation Satellite System* (GNSS) é um dos métodos de posicionamento com mais sucesso em ambientes *outdoor*. Contudo, a baixa cobertura do sinal de satélite para os ambientes *indoor* reduz a sua precisão e torna-o inadequado neste caso [23].

O GPS é um sistema de localização baseado no tempo mas que não pode ser aplicado em ruas estreitas ou zonas cobertas devido a árvores ou obstáculos, por não receber sinais de pelo menos 4 satélites. A precisão do sinal pode variar entre 3 e 10 metros, dependendo da ligação ao satélite e da continuidade de navegação do recetor. No entanto, a precisão pode ser aumentada através do GPS-diferencial (D-GPS) por estações terrestres, para uma precisão de 2 a 5 metros. Os recetores GPS têm-se tornado cada vez mais baratos com a introdução no mercado dos PDAs e telemóveis [27].

O GNSS de elevada intensidade pode ser utilizado dentro de edifícios feitos de madeira ou tijolo com precisões da ordem dos 10 m com um tempo de aquisição de cerca de 20 s. Contudo, este sistema ainda não está preparado para o seguimento de peões na maioria dos edifícios públicos [24].

Os **Pseudolites** (pseudo-satélites) são bases terrestres que geram códigos semelhantes aos transmitidos por GNSS. Estes permitem apoiar o GNSS quando o sinal deste está bloqueado, com interferências ou não disponível (ambientes *indoor*). A cobertura destes sistemas pode ser até centenas de quilómetros, sendo o único requisito a linha de visão entre o *pseudolite* e os dispositivos em movimento [24].

3.3.2 Detecção por vídeo

A utilização de câmaras de vídeo pode ser uma solução para a detecção e seguimento de um objeto, pessoa ou veículo. Neste sentido, existem diferentes métodos de seguimento através de câmaras de vídeo, que permitem obter coordenadas de imagem. O método *Outside-In* permite seguir um objeto através de uma câmara exterior ou múltiplas câmaras. No método *Inside-Out*, o sensor de imagem está montado na “cabeça” do utilizador [27] (Ex: Câmara Google). Através de câmaras é possível ainda determinar a posição através de *landmarks* (marcações) colocadas em posições conhecidas do ambiente. Por outro lado, é possível determinar a posição em tempo-real através algoritmos de

deteção de características físicas (este método implica ter grande capacidade de processamento de informação).

3.3.3 Redes sem fios

As tecnologias *wireless* (rede sem fios) são utilizadas hoje-em-dia em diversas aplicações, nomeadamente na medicina, indústria, segurança pública, logística e no sistema de transportes [23]. Estas tecnologias têm a vantagem de poder ser aplicadas tanto em ambientes *indoor* como *outdoor*.

Inicialmente, a utilização de redes *wireless* era restrita a zonas de escritórios, tendo posteriormente sido expandida a áreas residenciais e a áreas rurais. A necessidade de expansão de área de cobertura pelas redes sem fios conduziu ao desenvolvimento de redes *wireless* com maior cobertura. Assim sendo, as redes WLAN (*Wireless Local Area Networks*) fornecem acesso *wireless* a raios de cobertura acima de 100 metros e são utilizadas principalmente em habitações e em escritórios. As redes WMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*) têm áreas de cobertura superiores, normalmente cobrindo cidades. Por último, as redes WWAN (*Wireless Wide Area Networks*) são utilizadas em áreas superiores à dimensão de uma cidade [27].

As redes **WLAN** são hoje em dia muito utilizadas para determinação do posicionamento, principalmente em ambientes *indoor*, visto existirem vários pontos de acesso disponíveis. Um dos métodos de posicionamento habituais em WLAN é a estimação da posição através de RSSI (*Received Signal Strength Indication*), isto é, através da força do sinal recebido por pontos de acesso *wireless* [27]. A cobertura das redes WLAN é superior à do *Bluetooth* ou RFID e tem a vantagem de não exigir *line of sight* [24]. Contudo, este método não é muito preciso, devido à necessidade de múltiplos pontos de acesso, e a rede apresenta algumas fases *offline* [27], o que reduz a sua fiabilidade. A sua taxa de atualização é de cerca de alguns segundos [23]. A utilização destas redes implica baixos custos com infra-estruturas (sem cabos e com facilidade de adicionar novos utilizadores), permite uma fácil instalação e tem a vantagem de servir de base para as comunicações móveis. Contudo, apresenta degradação de desempenho devido à grande utilização, e levanta alguns problemas de segurança devido ao acesso não autorizado [27].

Os sistemas **WMAN** aplicam-se em cidades com elevadas quantidades de redes WLAN, através de um sistema *Point-to-Point*. Os sistemas WMAN são constituídos por uma estação base e diversos subscritores fixos (edifícios) ou móveis (veículos e pessoas) [27].

As redes **WWAN** consistem basicamente em satélites que cobrem o globo terrestre total ou parcialmente [27].

A principal vantagem da utilização da rede Wi-Fi é a sua utilização *indoor* e *outdoor*, através de instalação de antenas que permitem obter a cobertura necessária. Contudo, apresenta limitações, pois tem cobertura na ordem dos 150 metros em boas condições (pode atingir os 300 m, mas o sinal fica fraco) e o congestionamento da rede pode constituir um problema. Por outro lado, o sistema Wi-Fi permite saber a localização de um dispositivo, com um erro na ordem dos 3 metros (com pelo menos 3 recetores), diminuindo a área de cobertura de cada célula e aumentando por isso o número de células/antenas necessário.

A rede Wi-Fi poderá ter outras aplicações no futuro, existindo já algumas aplicações deste sistema (mas não no Aeroporto de Lisboa) na área da placa. Por exemplo, a nível de bagagem, existe um sistema de verificação e *tracking* de bagagem, denominado BRS (*Baggage Reconciliation System*). Outra aplicação da rede Wi-Fi é a transferência de dados para o preenchimento de formulários de voo *on-line* pelos pilotos, à chegada à zona *In-block*.

Segundo a *Wi-Fi Alliance* [33], entidade que certifica os produtos Wi-Fi, as tecnologias Wi-Fi são produtos WLAN baseados nos *standards* IEEE 802.11 definidos pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Deste modo, é uma tecnologia que permite partilhar informação ou ligar-se à internet *wireless*, utilizando ondas rádio de 2.4 GHz e 5 GHz, através de um ponto de acesso (antena). Este ponto de acesso pode fornecer uma cobertura de cerca de 20 metros *indoor* (bloqueado pelas paredes) até vários quilómetros, quando sobrepostas várias coberturas de antenas.

Para além das redes de transmissão de informação mais conhecidas, utilizadas amplamente por empresas e habitações (exemplo do Wi-Fi), existem outras tecnologias que permitem funcionalidades semelhantes às destas redes. Exemplo disso é a utilização do **Bluetooth** na determinação da posição *indoor* baseada em redes móveis. Neste caso, se o edifício tiver uma cobertura de diversas estações base ou uma estação base com RSS forte recebido pelos clientes, é possível identificar a posição do dispositivo móvel. A cobertura do *Bluetooth* é de cerca de 10-15 metros e a precisão do método de *Cell-ID* é habitualmente baixo, na ordem dos 50-200 m [23].

O método de posicionamento por **RFID** (*Radio Frequency Identification*) é uma forma de armazenamento e receção de dados através de transmissão eletromagnética para um circuito integrado de radiofrequências [23]. Assim sendo, o sistema consiste num *microchip* e antena que interagem com ondas rádio de um recetor, de modo a transferir a informação contida no *microchip*. Os *microchips* ativos possuem o seu próprio transmissor e fornecedor de energia e podem ser lidos de 20 a 100 metros. Por outro lado, os passivos recebem a energia enviada pelo recetor e só têm uma cobertura de entre alguns centímetros a 5 metros [27]. Este método utiliza o princípio da proximidade, indicando a presença de uma pessoa/ objeto que esteja a utilizar um *microchip* (*tag*). Deste modo, a precisão deste sistema é relacionada diretamente com a densidade de *tags* existentes e a sua capacidade de cobertura [24]. As tecnologias rádio **UWB** (*Ultra-Wideband*) têm a vantagem de transmitir um sinal sobre múltiplas bandas de frequência em simultâneo, de 3.1 a 10.6 GHz, enquanto os sistemas RFID operam em bandas únicas de frequência [23]. Apresentam elevada resistência *multipath*, sendo penetráveis em materiais de construção, sendo deste modo favoráveis

para estimação de distâncias *indoor*, localização e seguimento [24]. Contudo, materiais metálicos e líquidos podem provocar interferência no sinal de UWB, apesar da elevada precisão que esta tecnologia oferece (20 cm) [23].

A localização *indoor* também pode ser feita através de **radiação infravermelha (IR)**, invisível para o olho humano em condições normais, fazendo desta uma tecnologia pouco intrusiva no posicionamento indoor [24]. O **Som** também pode ser utilizado para deteção do posicionamento e seguimento, na medida em que é uma onda mecânica que corresponde à oscilação de pressão num meio de propagação. Pode utilizar-se o som audível ou ultra-som com uma precisão de centímetros. Contudo, as alterações de frequência, a grande dependência de temperatura, a limitação dos sistemas de som a uma cobertura de 10 metros e os problemas de propagação *multipath* [24], tornam a utilização deste sistema pouco fiável. A **localização magnética**, através de campos electromagnéticos também pode ser utilizada, com a vantagem de não necessitar de linha de visão entre o sensor e o recurso pretendido.

A utilização de **sensores inerciais** também é possível no seguimento de *objetos*, através de giroscópios ou acelerómetros, quando se trata de sistemas de seguimento visuais [27]. Este método no entanto tende a falhar quando se verificam movimentos rápidos da câmara.

Também é possível determinar o posicionamento através de sistemas existentes nas **infra-estruturas**, instalados dentro dos edifícios (embebidos). Estes sistemas têm a vantagem de estar escondidos dos seus utilizadores.

Quadro 6 - Caracterização genérica de algumas tecnologias de localização.

Sistemas	Ambiente [27]	Cobertura [25]	Precisão [25]	Robustez	Custo
GPS [28]	Outdoor	Global	5-10 m	Elevado	Médio/Elevado
GNSS de alta sensibilidade	Outdoor	Global	10m	-	-
WiFi [29]	In/Outdoor	20-50 m	2-100 m	Médio	Médio
WMAN	In/Outdoor	1-4 km	-	-	-
WWAN	In/Outdoor	Global	-	-	-
WiMAX	In/Outdoor	-	-	-	-
Câmaras de vídeo [30]	In/Outdoor	1-10 m	0,1mm-dm	Médio	Médio
Bluetooth	In/Outdoor	10 m	-	-	-
RFID [31]	In/Outdoor	1-50 m	3 cm - 10m	Elevado	Baixo
Infra-vermelhos	In/Outdoor	1-5 m	cm - m	-	-
Sensores inerciais	In/Outdoor	10-100 m	1%	-	-
UWB	Indoor	1-50 m	cm-m	-	-
Som	Indoor	2-10 m	cm	-	-
Pseudolites	In/Outdoor	10-1000 m	cm-dm	-	-
Sensores magnéticos [32]	In/Outdoor	1-20 m	mm-cm	Elevada	Baixo
Infra-estruturas	In/Outdoor	Edifício	cm-m	-	-

3.3.3.1 Sistema TETRA

Antigamente a comunicação via rádio fazia-se através de rádios analógicos, o que reduzia a clareza da informação transmitida, aumentando as interferências nas comunicações. Por outro lado, a alteração de frequência (para outro canal) em caso de emergência, não era possível. Com a introdução dos rádios digitais, foi possível definir diferentes canais de comunicação para diferentes frequências, permitindo fazer grupos de comunicações, isto é, separando as comunicações para diferentes funções.

O sistema TETRA, que significa *Terrestrial Trunked Radio*, é constituído por um rádio móvel que permite receber e transmitir informação (tipo *walkie-talkie*). Este sistema foi desenvolvido pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), de modo a definir uma série de interfaces e serviços que pudessem ser desenvolvidos pelos fabricantes, garantindo a interoperabilidade dos sistemas e o cumprimento dos requisitos dos utilizadores de rádios móveis profissionais. O objetivo da ETSI foi definir um conjunto de *standards*, de acordo com indicações da Comissão Europeia, para implementar um sistema de comunicações digital na Europa Ocidental [34].

O sistema TETRA foi inicialmente utilizado em agências governamentais e forças de segurança, como Polícias e Bombeiros, e em comunicações em sistemas de transporte, devido às suas características. No sistema TETRA, a comunicação é feita através de um botão que permite comunicar a informação para o grupo selecionado. É também possível efetuar a comunicação apenas para uma pessoa e não para o grupo, garantindo a qualidade de transmissão na medida em que utiliza a rede existente. Para além de comunicações de voz, permite enviar/ receber mensagens curtas, apresentando elevada segurança devido à encriptação [35].

O facto de funcionar com um sistema digital, permite aumentar a qualidade de voz, a cobertura de radiofrequência, os serviços sem voz e a segurança do sistema, reduzindo também o seu custo [34]. As principais vantagens deste sistema em relação a outros são o seu funcionamento a baixa frequência, aumentando a sua cobertura e exigindo um menor número de transmissores. Por outro lado, funciona *indoors*, não sendo as comunicações interrompidas no movimento dos rádios para diferentes áreas da rede. Em relação a outros tipos de comunicação analógica de rádio, este sistema apresenta a vantagem de não necessitar de envolvimento direto de um centro de controlo, podendo a comunicação ser efetuada diretamente entre duas pessoas. O facto de existirem diversos fornecedores deste equipamento oferece benefícios a nível de custo e de concorrência operacional. Em relação aos telemóveis, apresenta a vantagem de não efetuar comunicações apenas para um subscritor, mas sim de um para vários. A solução de *trunking* apresentada pelo TETRA permite para além de seleção automática de canais, processar todas as chamadas ao mesmo tempo, colocando-as por ordem de prioridade, e aumentar a eficiência de utilização dos canais, reduzindo o seu número. Por outro lado, aumenta a privacidade de utilização de canais e reduz as utilizações indevidas pois permite identificar os utilizadores (individuais e grupo) e o tempo e duração das mensagens enviadas [34]. Através de *Time Division Multiple Access* (TDMA) o sistema TETRA

fornece 4 canais independentes de comunicações em radio frequências com largura de banda de 25 kHz, tornando-o mais eficiente que os sistemas tradicionais *Frequency DMA* (12,5 kHz). Devido à sua elevada largura de banda, permite aumentar as taxas de atualização de informação, e permite melhorar as comunicações em situação de sinal fraco, pois o sistema TETRA corrige a informação transmitida através de transmissão de *slots* (4 slots) em vez de esperar pelo final da transmissão de voz [34].

Em Portugal, o sistema foi introduzido em 2007, pela Motorola, através do SIRESP (Rede Nacional de Emergência e Segurança), para utilização da Polícia, Bombeiros e ambulâncias. No Aeroporto de Lisboa este sistema é utilizado para as comunicações entre o pessoal de assistência em terra, tendo capacidade para integrar um sistema de posicionamento GPS.

3.4 Sistemas de posicionamento na placa de um aeroporto

Nos anos 40, o sistema de apoio à aterragem utilizado pelos pilotos era o sistema militar, designado *Instrument Landing System* (ILS), que fornecia aos pilotos informação sobre uma linha de aproximação à terra exata, através de localizadores de elevada frequência (a cerca de 300 m da pista), marcadores e referências visuais na pista. Mais tarde, surgiu um sistema ILS mais desenvolvido, que permitiria detetar as aeronaves em condições de baixa visibilidade. Contudo, a dificuldade de transmissão de sinal através de obstáculos, deste sistema, conduziu nos anos 90 ao desenvolvimento do *Microwave Landing System* (MLS), que através de microondas de frequências mais elevadas permitiria colmatar o problema de deflexão do anterior sistema. O MLS permitiu oferecer informação contínua de distância à pista, bem como caminhos de aproximação multidirecionais [15].

Com o desenvolvimento do sistema de localização por satélite, os sistemas ILS e MLS foram substituídos pelo GPS (designado GNSS pelo ICAO), passando a funcionar como sistema de navegação. Apesar do sistema ser capaz de produzir informação de posição muito precisa, incluindo a localização de uma aeronave num aeroporto, existe alguma incerteza quanto à integridade e continuidade do sistema, os mecanismos de interferência e falha.

Hoje em dia, a utilização de Radares, é muito importante nas operações aeroportuárias, no auxílio a aterragens e descolagens em aeroportos com muito movimento e elevada capacidade. Neste sentido, a identificação de aeronaves na aproximação ao aeroporto, na aterragem e na pista é feita através de Radar. Através do “radar primário” (cobertura entre 3000 e 3650 metros de altitude e 32 a 48 km de área) é possível detetar as aeronaves no espaço aéreo, mas a nível plano, sem indicar a altitude das mesmas. O “radar secundário” permite receber uma resposta do transmissor da aeronave (*transponder*), de modo a saber a sua posição e a altura a que se encontra do solo, sendo também possível saber a sua velocidade no solo, através de um sistema de seguimento [15].

Num aeroporto, para além da necessidade de saber o posicionamento das aeronaves no ar, tem surgido a necessidade de saber o posicionamento em terra dos diversos intervenientes na própria aeronave, que podem ter influência nos seus atrasos em terra. Assim sendo, este conhecimento (*Situational Awareness*) poderá resultar numa utilização eficiente dos recursos disponíveis e na previsibilidade das operações, contribuindo para a redução dos atrasos.

O conceito corrente de controlo de veículos e aeronave na placa, conhecido por SMGCS (*Surface Movement Guidance and Control System*), baseia-se no princípio “ver e ser visto” [19]. Contudo, em condições atmosféricas adversas, este princípio não é adequado e não responde aos requisitos de segurança necessários. A inadequação deste princípio aumenta com o facto de se verificar hoje em dia o aumento do número de operações, o aumento do tráfego aéreo e a complexidade do *layout* da placa [19]. Perante as limitações identificadas pelo antigo sistema SMGCS, observou-se a necessidade de aumentar a capacidade do sistema, de modo a assegurar a visualização de veículos na placa mesmo em condições ambientais difíceis, de modo a manter a capacidade aeroportuária adequada.

Tendo em conta as necessidades de vigilância, atribuição de rotas, orientação e controlo de veículos na área da placa de um aeroporto, interessa identificar que tecnologias melhor se adequam a cada função. Neste sentido, os sistemas utilizados devem ter em conta a adequada precisão, taxa de atualização, integridade, disponibilidade e continuidade, e fiabilidade [19] dos equipamentos para cada situação. No entanto, para além de parâmetros de desempenho, também os requisitos dos utilizadores devem ser tidos em conta na escolha das tecnologias a utilizar. Assim sendo, é necessário fazer uma avaliação de cada tecnologia tendo em conta um conjunto de características, condições e aplicações, de forma não objetiva [24].

Um sistema de posicionamento permite que existam alguns *trade-offs* entre os critérios de seleção [25]. Por exemplo, por vezes é preferível reduzir a complexidade do sistema, apesar de se verificar uma redução da precisão da tecnologia. Por outro lado, a escolha de uma opção mais barata pode levar a uma redução da cobertura do sistema, sem que isso implique uma grande redução da qualidade do sistema. Para selecionar as tecnologias é necessário ter em conta o ambiente envolvente antes de decidir qual a tecnologia e técnica de posicionamento a ser utilizada num cenário específico. Adicionalmente é de salientar que diferentes métodos podem ser combinados de modo a melhorar o funcionamento do sistema. Por exemplo, a integração de tecnologias *indoor* e *outdoor* pode ajudar a desenvolver sistemas mais eficientes e robustos [36].

3.5 Critérios de avaliação de tecnologias

Quando se avaliam tecnologias de posicionamento, para além dos critérios técnicos de avaliação, deve ter-se em conta os critérios financeiros, mas também critérios relacionados com a usabilidade dos sistemas e a sua interação com os utilizadores (Figura 13).

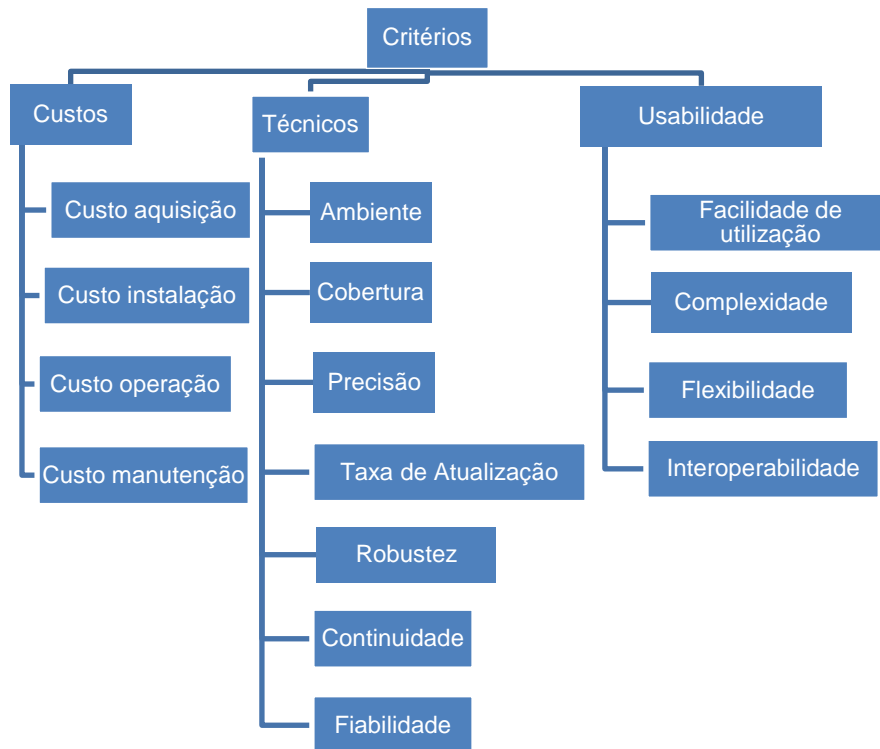


Figura 13 - Critérios possíveis de considerar na avaliação de tecnologias.

Tendo em conta as exigências do sistema aeroportuário e a necessidade crescente de reduzir custos, os critérios financeiros surgem em primeiro lugar como um importante fator de decisão na escolha de uma tecnologia, na medida em que a aplicação de novos sistemas tecnológicos num aeroporto implica um grande investimento financeiro. Assim sendo, na avaliação de custos [37] deve ter-se em consideração os critérios financeiros, que podem englobar os custos de aquisição, instalação, operação e de manutenção dos sistemas. O custo de aquisição é o custo inicial do sistema, em termos de equipamentos e infraestrutura, e o custo de instalação é o custo de mão-de-obra necessário para instalar o sistema. Aos custos de operação está associado o custo de funcionamento do sistema em termos de energia e pessoal. Por último, os custos de manutenção englobam os custos com pessoal e possíveis correções ao sistema.

Para além dos custos, os critérios técnicos têm grande importância na seleção de tecnologias [25], visto garantirem (ou não) as funcionalidades e níveis de desempenho necessários para realizar a

função exigida. Assim sendo, deve ter-se em conta a adequação das tecnologias ao ambiente onde estas podem funcionar (*interior* ou *exterior*). Por outro lado, deve considerar-se a área de cobertura das tecnologias, mas também a precisão da informação de posicionamento fornecida, isto é, o grau de aproximação de uma posição medida ou estimada, num determinado momento, com o valor real [24]. A robustez da tecnologia, isto é, a capacidade de um sistema funcionar normalmente mesmo quando alguns sinais não estão disponíveis (informação incompleta) [23], por exemplo devido a danos físicos, roubo ou acesso não autorizado [24], pode ser um fator de elevada importância na escolha de tecnologias. Outros fatores de elevada importância prendem-se com a taxa de atualização da informação, logo, a frequência com que a posição é calculada num aparelho ou numa instalação de processamento externa (pode ser *on-time*, a pedido ou periodicamente) [24]. A continuidade de operação do sistema, isto é, a capacidade de um sistema operar durante um período de tempo em contínuo [24], também pode ter influência na seleção de tecnologias de posicionamento. Por último, a fiabilidade do sistema é um critério de elevada importância e pode também ser um critério a ter em conta na avaliação de uma tecnologia na medida em que é a capacidade de um sistema manter o seu funcionamento em circunstâncias normais e em circunstâncias inesperadas.

A implementação de tecnologias por vezes implica uma adaptação das pessoas aos novos sistemas, existindo uma interação entre pessoas e tecnologias. Neste sentido, na seleção de tecnologias pode considerar-se uma terceira área de avaliação designada por usabilidade do sistema. A facilidade de utilização da tecnologia pelos utilizadores e a sua complexidade (tem em conta o *hardware* e *software* utilizados [23]) podem ser critérios de avaliação considerados. A facilidade de a tecnologia se adaptar a um sistema já existente ou a alterações posteriores (flexibilidade) ou mesmo de interagir e comunicar com outro (interoperabilidade) também podem ser fatores considerados na avaliação de tecnologias.

Os critérios de avaliação de tecnologias de posicionamento podem ser variados. Assim sendo, o processo de seleção de tecnologias implica a definição clara dos objetivos da tecnologia, bem como o conhecimento do meio onde a tecnologia será aplicada, de modo a definir quais os critérios que se adequam a cada caso específico.

4 O Apoio à Decisão

4.1 Os Sistemas de Apoio à Decisão

No planeamento estratégico dos aeroportos é necessário uma abordagem que promova a colaboração entre todos os *stakeholders*, que têm objetivos e preocupações diversas. Esta abordagem pode ser facilitada utilizando um sistema de apoio à decisão que permita aos decisores avaliar facilmente estratégias alternativas, de modo a decidir a que melhor se adequa aos seus objetivos [38]. Assim sendo, também ao nível do planeamento tecnológico é necessário que o *Decisor*³ se apoie numa ferramenta de apoio à decisão, de modo a poder considerar os *inputs* de todos os *stakeholders* e englobar os diferentes critérios existentes.

Com o aparecimento dos computadores, e mais tarde a internet, surgiu a capacidade de desenvolver uma série de sistemas que apoiassem as pessoas nas suas decisões do dia-a-dia. Assim sendo, nos anos 60, um sistema de apoio à decisão era um sistema informático que lidava com um problema, onde pelo menos uma fase do mesmo não estava estruturada [39], permitindo resolver o problema de decisão em causa. Por volta dos anos 70, as ferramentas de apoio à decisão desenvolveram-se através dos sistemas *DOS* e *UNIX*, sendo nos anos 90 desenvolvidos sistemas *Windows*.

A partir de 1985, o conceito de DSS (*Decision Support Systems*) evoluiu para um conceito mais genérico e aplicado à tomada de decisões em grupo (GDSS), desenvolvendo-se tendo em vista a escala organizacional e servindo de suporte para as atividades de *brainstorming* e de avaliação de uma ideia [40]. *Courtney* [41] sugeriu algumas alterações aos modelos inicialmente propostos, introduzindo nos modelos DSS preocupações mais genéricas (*soft informations*), considerando aspetos técnicos, operacionais, pessoais, estéticos e éticos na análise do problema.

A partir dos anos 90 surgiram novos métodos de construção de DSS, como *Data Warehousing* (Informação integrada de diversas bases de dados operacionais), *on-line analytical processing* [OLAP] (através de tecnologia de *software*), *data mining* (procura de informação através de exploração de bases de dados) e a tecnologia associada à *World Wide Web* (DSS baseadas na internet) [40].

Hoje em dia, os sistemas de apoio à decisão são soluções tecnológicas informáticas que têm como objetivo suportar e melhorar o processo de decisão [42]. Deste modo, cada vez mais a utilização destes sistemas é muito importante em empresas e organizações, na medida em que permite aos decisores analisar um problema e chegar a decisões de modo mais eficiente [38]. Estes sistemas

³ O Decisor é “Um indivíduo que tem o poder de alocar os recursos da organização. Em alguns casos, o decisor pode ser uma entidade organizacional, como um conselho executivo...” ([43], p.11 e 12).

permitem então que a análise envolva todos os *stakeholders* e que diversos critérios possam ser tidos em conta em simultâneo, permitindo simplificar a resolução de um problema complexo.

4.2 Análise Multicritério

A dificuldade da tomada de decisão aumenta com a complexidade do problema em causa e implica uma análise cuidada do mesmo, de modo a encontrar a “melhor” solução ou conjunto de soluções, comparativamente com outra. Deste modo, os problemas com que os decisores se deparam podem ter elevada importância (está em causa uma quantidade significativa de recursos da organização) e algum grau de incerteza (alguns fatores não são completamente conhecidos). Por outro lado, podem ter implicações a longo-prazo (a organização terá que viver durante muito tempo com as implicações da sua decisão) e ser de preferências complexas (dificuldade em incorporar as preferências dos decisores) [43].

Assim sendo, quando um decisor se encontra perante uma série de alternativas, a escolha da “melhor” alternativa implica um processo de análise, que permitirá ao decisor chegar a uma decisão. Este processo designa-se análise de decisão e *“Procura aplicar processos lógicos, matemáticos e científicos a problemas de decisão de gestão de topo”* ([43] p.10). Contudo, perante a complexidade dos problemas e a variedade de alternativas de escolha, é necessário proceder a uma análise multicritério.

A análise multicritério é usada para sintetizar opiniões expressas, para determinar prioridades, para analisar situações de conflito, para formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional [44]. Para além de permitir ter em conta diversos critérios, em simultâneo, considerando objetivos contraditórios (ambientais, económicos, sociais, técnicos e estéticos), tem em conta a pluralidade dos decisores (diversidade na avaliação de um problema) [45]. Contudo, este tipo de análise não fornece uma solução ótima do problema mas sim uma hierarquia de alternativas, baseada nos critérios definidos por diversos intervenientes no processo. Deste modo, poderá produzir uma conclusão sintética simples no final da avaliação, ou conclusões adaptadas às preferências e prioridades de diferentes intervenientes [44].

A principal vantagem da análise multicritério é poder conciliar as opiniões dos diversos atores na tomada de decisão de forma quantitativa, contribuindo para o estabelecimento de um compromisso [44]. Como os processos de decisão de critérios, alternativas e ponderação decorrem em parceria e discussão entre os diversos intervenientes, contribuem para a aumentar a credibilidade dos resultados da análise. Por outro lado, o compromisso a que os decisores chegam permite avaliar as hipóteses de forma qualitativa, chegando a escalas quantitativas de avaliação.

Porém, existe um conjunto de fragilidades que pode ameaçar a relevância ou validade dos resultados. O facto de ter em conta os resultados de *brainstorming* ou de um grupo de analistas,

implica que esta análise assuma uma função de decisão do decisor como se fosse uma única pessoa, não tendo em conta a decisão de cada indivíduo individualmente. Por outro lado, esta técnica por vezes não é usada de uma forma interativa, e tende a fixar critérios que são, na realidade, instáveis [44]. Significa que por vezes, devido à falta de análise e debate, os critérios definidos não refletem os parâmetros de avaliação que na realidade são tidos em conta na escolha. Por último, a análise multicritério está sujeita à subjetividade e pode basear-se em informação incompleta ou pouco credível [45]. A subjetividade influencia a análise multicritério, na medida em que os juízos (importância) dados aos critérios e alternativas variam de acordo com quem avalia, e com os seus objetivos. Como a ponderação de critérios está dependente da informação disponível, os erros e omissões de informação podem conduzir o decisor a análises que conduzem a resultados com pouca credibilidade.

4.2.1 Metodologia genérica da análise multicritério

A análise multicritério implica a existência de um conjunto bem definido de alternativas possíveis, um modelo de preferências bem definido na mente do decisor, racionalmente estruturado por uma série de atributos, e um problema matemático bem formulado [46]. Neste sentido, pode considerar-se a seguinte metodologia de análise multicritério (Figura 14):

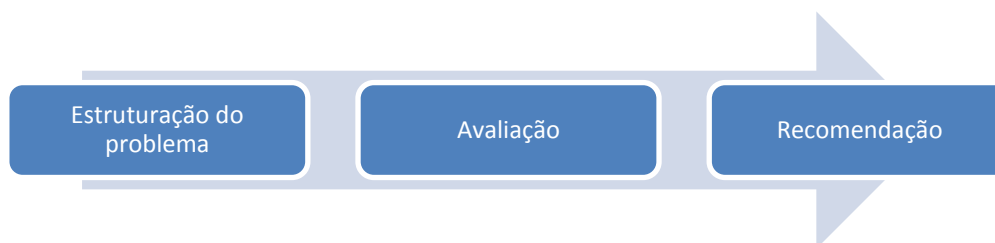


Figura 14 - Metodologia genérica da análise multicritério.

4.2.1.1 Estruturação do problema

A fase de estruturação do problema implica a definição de alternativas e critérios de avaliação.

Inicialmente deve identificar-se os elementos sobre os quais se vai fazer uma apreciação comparativa [44]. Esta fase realiza-se através de juízos de especialistas e por pesquisa das características das alternativas [47] de modo a ser mais fácil definir os critérios de avaliação.

Um critério é uma ferramenta que permite comparar alternativas de acordo com um ponto de vista [48]. Assim sendo, a definição dos critérios de avaliação de alternativas deve ter em conta os pontos

de vista dos intervenientes no processo de decisão. Deste modo, é de elevada importância o envolvimento dos parceiros e partes interessadas na definição dos critérios [44], na medida em que a discussão conduzirá aos critérios que melhor se adequam à avaliação.

Na análise multicritério, a escolha dos critérios de avaliação é muito importante, pois determina a credibilidade dos resultados do problema. Assim sendo, a equipa de avaliação deve verificar se os critérios são logicamente independentes uns dos outros [44], de modo a não avaliar duplamente o mesmo critério, e se têm legibilidade [49], isto é, se existe um número razoável de critérios, habitualmente considerando-se um máximo de oito [44]. Os critérios devem ainda garantir operacionalidade (considerados por todos os atores uma base para a decisão), devem ser exaustivos (contendo todos os pontos de vista importantes) e monóticos (preferências parciais modeladas pelas preferências globais) [49].

Por último, deve ter-se em conta que as comparações que se deduzem por cada critério devem ser interpretadas como preferências parciais dos *stakeholders* e devem ter em conta a incerteza e imprecisão que afetam a informação usada para os construir [49].

4.2.1.2 Avaliação

A fase de avaliação implica a avaliação parcial de cada alternativa segundo cada um dos critérios (ponderação dos critérios de avaliação), e a avaliação global, por agregação das avaliações parciais.

Depois de definidos os critérios de avaliação, é necessário definir para cada critério o seu “peso” e o seu impacto em cada alternativa, de modo a construir uma matriz de avaliação multicritério. Os critérios considerados na construção da matriz multicritério podem ser quantitativos (expressos por indicadores numéricos), qualitativos (expressos por descritores não numéricos) e intermédios (expressos por pontuações) [44].

A avaliação parcial ou local de cada alternativa pode ser feita através da construção de funções de valor para cada critério. As funções de valor permitem transformar os impactos (níveis de desempenho) em pontuações de valor, que indicam a atratividade de um impacto tendo em conta dois níveis de referência.

A ponderação dos critérios pode ser feita de forma subjetiva, através das preferências expressas por um grupo de decisores, de dimensão suficiente para transmitir os seus pontos de vista. Assim sendo, as preferências dos decisores podem ser reveladas através de expressão direta (ponderação atribuída a cada critério por votação ou discussão) e classificação de perfis (aos decisores são apresentados pares de alternativas e os critérios, tendo os decisores que especificar se a sua preferência entre as alternativas é fraca, média, forte ou muito forte, para cada critério).

Genericamente, a ponderação de critérios pode ser feita através de diversos processos:

- Algébricos ou Estatísticos: Nos processos algébricos, calcula-se n pesos de um conjunto de $n-1$ juízos, através de um sistema de equações. Os processos estatísticos baseiam-se num conjunto de juízos, sendo os pesos atribuídos resultado de um procedimento estatístico (por exemplo, análise regressão múltipla) [50];
- Holísticos ou Decompostos: Os processos holísticos requerem do decisor uma avaliação holística das alternativas, isto é, atribuindo-lhes um valor ou um ranking (por exemplo a agregação hierárquica de Saaty [51]). Os processos decompostos consideram cada atributo de cada vez ou um par de atributos de cada vez [50];
- Diretos ou indiretos: Nos processos diretos, o decisor compara dois atributos em termos de rácios associados [51]. Nos indiretos, os pesos são atribuídos por juízos de preferência [50].

Depois da avaliação parcial das alternativas, segundo cada critério, o processo de agregação permite fazer uma avaliação global do problema, pois agrupa a informação resultante da avaliação parcial de cada alternativa em cada critério, de modo a construir uma função que define uma pontuação para cada alternativa.

A agregação pode ser feita através de métodos compensatórios ou não compensatórios.

O método de compensação consiste na atribuição de uma ponderação a cada critério e no cálculo de uma pontuação global para cada alternativa, sob a forma de uma média aritmética ponderada das pontuações atribuídas à alternativa em questão em relação aos diferentes critérios [44]. Neste caso, a atribuição de um peso baixo a um determinado critério pode ser “compensado” por um peso mais alto atribuído a outro critério, na medida em que se utiliza a média ponderada. Este método permite saber quanto estariam os decisores dispostos a perder na escala de valor associada a um critério, para obter em compensação um certo ganho noutra critério.

O método de prevalência (não compensatório) utiliza-se quando nem todos os critérios são comensuráveis, não sendo possível obter uma pontuação global [44]. Neste caso, a análise do problema baseia-se em comparações do tipo “A alternativa A tem prevalência sobre a alternativa B do ponto de vista do critério X?”, sendo esta análise efetuada entre todas as alternativas e para todos os critérios definidos. A resposta às questões pode ser “sim” ou “não” ou pode ser qualificada, através da introdução das noções de “preferência fraca” e de “critério limite” [44]. A vantagem deste método é permitir, através da introdução de um “limiar de veto” para cada critério, incluir uma ressalva contra uma apreciação favorável a uma alternativa que seria desastrosa do ponto de vista do critério em questão [44].

A agregação das apreciações dos intervenientes é feita através de um programa informático, podendo ser pessoal, por coligação ou por compromisso. A agregação pessoal permite fazer argumentação do seu ponto de vista. A agregação por coligação é feita por via de *software*, através da classificação dos critérios, permitindo avaliar uma alternativa acima de outra, se tiver maior

pontuação relativamente à maioria dos critérios. Por último, a agregação por compromisso permite ao avaliador propor uma ponderação aos critérios ou os decisores definirem-nos em conjunto [44]. Nesta fase é apresentada uma matriz de classificação de impactos e é calculada uma pontuação global para as diferentes alternativas e critérios.

4.2.1.3 Recomendação

Após a agregação de apreciações, forma-se uma hierarquia de alternativas (*ranking*) e é possível fazer uma recomendação quanto à melhor alternativa, comparativamente com as restantes.

4.2.2 Métodos de análise multicritério

Um modelo de análise multicritério deve permitir ao decisor tomar decisões informadas na escolha de uma alternativa, selecionando a alternativa que melhor se adequa aos requisitos do sistema [47]. Nesse sentido, a escolha do modelo de análise multicritério a aplicar a cada problema deve ser uma decisão fundamentada e de acordo com as características do problema em causa.

A estrutura genérica de um modelo de análise multicritério deve incluir uma matriz de decisão D , normalmente criada de modo a organizar a informação de um modelo de análise de decisão multicritério com m alternativas (A_j), n critérios (x_i), e n pesos (w_i) atribuídos a todos os critérios, de modo a indicar a preferência. Os critérios são atribuídos na matriz como r_{ij} para cada alternativa [47].

Devido à grande variedade de modelos de análise multicritério, a escolha do modelo a aplicar deve ter em conta para além das características do problema em causa, os critérios de avaliação e os decisores envolvidos. Por exemplo, existe uma grande variedade de modelos determinísticos que se pode utilizar (Quadro 7) na análise multicritério.

Quadro 7 – Modelos determinísticos de decisão multicritério.

Fonte: (2012), Using Multi Criteria Decision Making in Analysis of Alternatives for Selection of Enabling Technology [47].

MCDM Models	
Simple Additive Weighting (SAW) or Weighted Sum Method (WSM)	(Fishburn, 1965), (Fishburn, 1967), (Afshari, et al., 2010)
Weighted product model (WPM)	(Triantaphyllou, et al., 1998), (Wang, 2011)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	(Saaty, 1980, 2008), (Nydick & Hill, 1992), (Barzilai & Golany, 1994),
Revised Analytic Hierarchy Process (AHP)	(Belton & Gear, 1983), (Holder, 1990), (Triantaphyllou, et al., 1998)
Analytic network process (ANP)	(Saaty, 1996, 2004), (Triantaphyllou, et al., 1998), (Yang, et al., 2008)
Multi-attribute utility theory (MAUT)	(Keeney & Raiffa, 1993), (Keeney, 1975), (Fülöp, 2005), (Butler, et al., 2005)
Multiple Attribute Group Decision Making (MAGDM)	(Kim, et al., 1999).
Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	(Yoon, 1980), (Hwang & Yoon, 1981), (Triantaphyllou, et al., 1998)
ELimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE)	(Roy, 1991), (Fülöp, 2005), (Triantaphyllou, et al., 1998), (Figueira, et al., 2005), (Roy & Vanderpooten, 1996)
Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)	(Brans, et al., 1986), (Brans & Vincke, 1985), (Vincke, 1992), (Hopfe, 2009)
Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA)	(Brans & Vincke, 1985), (Vincke, 1992)
Superiority and inferiority ranking method (SIR method)	(Xu, 2001)
Potentially All Pairwise Rankings of all possible Alternatives (PAPRIKA)	(Hansen & Ombler, 2009)
Aggregated Indices Randomization Method (AIRM)	(Vladimirovich, 2010)
Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)	(Li & Tzeng, 2009), (Tzeng, et al., 2007), (Yang, et al., 2008)
Data Envelopment Analysis (DEA)	(Charnes, et al., 1978), (Karsak & Ahiska, 2008), (Lofli, et al., 2011)
Complex Proportional Assessment of Alternatives (COPRAS)	(Ustinovichius, et al., 2007), (Zavadskas, et al., 2008), (Zavadskas, et al., 2009)
Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (MOORA)	(Kalibatas & Turskis, 2008), (Brauers & Zavadskas, 2006)
Dominance Based Rough Set Approach (DRSA)	(Greco, et al., 2001), (Kotlowski, et al., 2008), (Figueira, et al., 2005)
The Evidential Reasoning Approach (ER)	(Yang & Singh, 1994)
Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)	(Bana E Costa & Vansnick, 1997)
Goal programming	(Tamiz, et al., 1998), (Lee & Kim 2000), (Karsak, et al., 2002)
Grey Relational Analysis (GRA)	(Kung & Wen, 2007)
Step Method (STEM)	(Benayoun, et al., 1971)
CODASID	(Yang & Singh, 1994), (Tanadtang & Park, 2003)
New Approach to Appraisal (NATA)	(Affuso, et al., 2003), (Shepherd, et al., 2006)
Value Analysis (VA), Value engineering (VE)	(Shillito & De Marle, 1992)
The VIKOR method	(Opricovic & Tzeng, 2004)
Group Decision Support System (GDSS)	(DeSanctis & Brent, 1987)
Interpretive Structural Modeling (ISM)	(Thakkar, et al., 2006)
Games Theory Methods	(Sanfey, 2007), (Jennings, et al., 2001)
Policy Goal Percentaging Analysis	(Buede & Maxwell, 1995)
UTA (Utilités Additives) method	(Figueira, et al., 2005)

4.2.2.1 Métodos de Prevalência

Seguidamente explicam-se alguns exemplos de métodos de análise multicritério baseados em métodos não compensatórios.

4.2.2.1.1 ELECTRE

O acrónimo ELECTRE significa *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*, o que significa “Eliminação e escolha expressando a realidade” [52].

O método ELECTRE surgiu em 1965, por B. Roy, na empresa europeia de consultoria SEMA, com a necessidade de responder a um problema concreto, multicritério e real, e de modo a apoiar as empresas nas decisões sobre o desenvolvimento de novas atividades. Assim sendo, a versão inicial deste método baseou-se em “**escolher a melhor ação perante um conjunto de ações**” – ELECTRE I [52]. Esta variante funcionou com índices de concordância e de discordância, apresentados sob a forma de pontuações. Era introduzido um limiar de discordância (um veto) para todos os critérios. O *software* processava uma situação em que era(m) escolhida(s) a(s) melhor(es) medida(s), por exemplo, uma situação em que o objetivo era identificar a melhor prática [44].

Contudo, no final dos anos 60, o método inicial deu lugar ao desenvolvimento do ELECTRE II, que permitiria lidar com o problema de **ordenar ações (*ranking*) da melhor opção para a pior** [52]. Produzia portanto uma classificação de medidas, desde as mais eficazes às menos eficazes [44]. Também baseado no *ranking* de ações, desenvolveu-se o método ELECTRE III, que lidava melhor com os problemas de incerteza e imprecisão, introduzindo uma abordagem de limiar (*threshold*). Este método introduziu o conceito de pseudo-critério em vez de critério-real, bem como as relações de *outranking* binária *Fuzzy* [52]. Apesar de executar uma classificação, o ELECTRE III introduz relações de prevalência mais vagas [44]. O ELECTRE IV surgiu num problema relacionado com a rede de metro de Paris, tornando possível ordenar (*ranking*) opções sem utilizar os coeficientes de importância relativa dos critérios [52]. Até este ponto, os métodos serviram para apoiar o decisor na escolha e *ranking* de ações. Mais tarde desenvolveu-se o ELECTRE A para apoiar a banca em decisões do tipo “dar ou não crédito a empresas” [52].

A partir dos anos 70, surgiu um processo de **organizar as ações em categorias predefinidas e ordenadas**, baseado numa árvore de decisão [52]. Assim sendo, neste tipo de problema, cada ação é considerada independente das outras, sendo-lhe atribuída uma categoria, de acordo com um perfil, norma ou referência da mesma. Os resultados são expressos usando as noções de “atribuído” ou “não atribuído” a uma categoria, “semelhante” ou “não semelhante” a um perfil de referência e “adequado” ou “não adequado” a normas [52]. Para aplicação deste tipo de problema, desenvolveu-se o ELECTRE TRI, permitindo distribuir as medidas em diferentes categorias, por exemplo, as

medidas com mais sucesso, as medidas sem impacto significativo e as medidas de desempenho mediano [44]. Este método foi simplificado em relação aos anteriores e tornou-se mais genérico [52], isto é, mais aplicável a diferentes contextos e não às situações específicas em que se basearam os métodos anteriores.

Em suma, os métodos ELECTRE aplicam-se nas seguintes situações [53]:

- Quando um decisor pretende incluir no modelo pelo menos três critérios. Contudo, os processos de agregação estão mais adaptados a modelos que incluem mais de cinco critérios (até doze ou treze).

Para além deste pressuposto, pelo menos uma das seguintes situações tem que ser verificada:

- As ações são avaliadas numa escala ordinal ou numa escala de intervalos - Estas escalas não se adequam à comparação de diferenças, o que torna difícil definir um código que faça sentido em termos de diferenças de preferência dos rácios $(g_j+a)-g_j(b))/(g_j(c)-g_j(d))$, onde $g_j(x)$ é a avaliação da ação x sobre o critério g_j .
- Existe uma grande heterogeneidade entre os critérios, relativa à natureza da avaliação (duração, ruído, segurança, etc.) – Dificulta a agregação de critérios numa escala única comum.
- A compensação de uma perda num critério, com um ganho noutra critério, pode não ser aceitável pelo decisor. Nestes casos é necessário o uso de métodos de agregação não compensatórios.
- Em relação a pelo menos um critério, pequenas diferenças de avaliação não são significativas em termos de preferências, mas a acumulação de diferenças pode ser significativa – Requer introdução de limiar de discriminação (indiferença e preferência).

O método ELECTRE compreende dois procedimentos essenciais: a construção de relações de *outranking* e um processo de exploração. A construção de relações de *outranking* permite comparar pares de ações, logo baseia-se em relações binárias de *outranking*, S , cujo significado é “pelo menos tão bom como”. Neste caso, considerando duas ações a e b , podem ocorrer quatro situações possíveis: a é preferido a b , b é preferido a a , a é indiferente a b ou a é incomparável a b . A construção da relação de *outranking* baseia-se nos conceitos de concordância (uma maioria de critérios devem ser a favor de uma situação) e de não-discordância (quando não se verifica a condição de concordância, nenhum dos critérios na minoria deve opor-se fortemente à situação). Quando estas condições estão verificadas, é validada a situação [52]. O processo de exploração permite fazer recomendações com base nos resultados obtidos na primeira fase, dependendo de ser um problema de escolha, *ranking* ou ordenação (*sorting*). Neste método, o peso w_j reflete a importância de um determinado critério, quando este contribui para a maioria que está a favor de um *outranking*. Por outro lado, define um limiar de veto, para que não seja possível considerar uma ação “ a prevalece sobre b ”, quando a diferença de avaliação entre $g(b)$ e $g(a)$, para um determinado

critério, é maior que este limiar. Salienta-se que estes limiares de discriminação podem ser de indiferença ou de preferência, para ter em conta a natureza imperfeita das avaliações, transformando cada critério num modelo pseudo-critério [52].

O método ELECTRE ao longo dos anos foi aplicado em inúmeras áreas [52], nomeadamente na agricultura e gestão florestal, energia, ambiente e gestão dos recursos hídricos, finanças, aplicações militares, seleção de projetos e transportes.

4.2.2.1.2 PROMETHEE

Os métodos PROMETHEE I (*ranking* parcial) e PROMETHEE II (*ranking* total) foram introduzidos em 1982 por J.P. Brans. Em comparação com o método ELECTRE, permitiu facilitar a compreensão do modelo, pelo decisor, baseando-se na noção de extensão de critério. Este critério seria construído pelo decisor, representando a noção natural de intensidade de preferência, e os parâmetros a fixar (no máximo dois) teriam um significado real [54]. Assim sendo, introduziu-se a função de preferência para cada critério, sendo permitido ao utilizador atribuir números arbitrários aos pesos, sendo posteriormente normalizados, tornando mais fácil expressar a importância relativa dos critérios [55].

Os métodos de *outranking* constituem uma das abordagens mais comuns aos problemas de análise multicritério, pois permitem obter uma recomendação final, com base na comparação entre as alternativas possíveis, através do emparelhamento e construção de relações binárias entre elas. Neste sentido, e apesar de os métodos mais comuns aplicados serem o ELECTRE e o PROMETHEE, existem outros métodos interessantes do ponto de vista prático e operacional [56].

De entre estes métodos, existem métodos baseados em análise de concordância-discordância entre os *rankings* de alternativas, de acordo com os critérios considerados e o seu *ranking* respetivo. Adicionalmente existem métodos baseados em comparação direta entre cada par de alternativas, mais ligado à análise concordância-discordância do ELECTRE. De entre os métodos que utilizam informação ordinal (não precisam de converter para cardinal) são exemplo o QUALIFLEX, REGIME, ORESTE, ARGUS, EVAMIX, TACTIC e MELCHIOR [56].

Existem ainda outros métodos desenvolvidos tendo em conta *pairwise comparison* entre critérios, dividindo a fase de construção de relações binárias em duas fases. Em primeiro lugar, cada par de alternativas é comparado em dois critérios de cada vez, sendo construídos índices de preferências parciais. Na fase seguinte, os índices são agregados, obtendo-se os índices globais e as relações binárias, e chega-se à recomendação final [56].

Por último, pode ainda aplicar-se modelos de *outranking* por análise das relações de concordância-discordância baseada nas relações de dominância estocástica num conjunto de alternativas, comparando as funções de distribuição cumulativa associadas a cada critério [56].

4.2.2.2 Teorias multiatributo de utilidade e de valor

A teoria de preferências pode ser dividida em categorias, de acordo com a existência ou não de risco associado ao problema. Assim sendo, em condições sem risco utilizam-se funções de valor, mas quando existe risco associado, utilizam-se funções de utilidade [57]. As funções de valor e as funções de utilidade são medidas cardinais. No entanto, a teoria que tem por base as funções de valor baseia-se em axiomas que envolvem diferença de preferências, enquanto as funções de utilidade baseiam-se em questões que tipicamente envolvem atribuição de valores [57].

4.2.2.2.1 MAUT – Multiple Attribute Utility Theory

A teoria de preferência multicritério fornece as bases axiomáticas para a tomada de decisão que envolve critérios múltiplos. Cobre diversos modelos multiatributo de escolha, permitindo identificar e quantificar a preferência individual e construir funções de representação de preferência para o processo de decisão. Deste modo, é baseada em axiomas que caracterizam a escolha do decisor, e que permitem construir funções de representação de preferências [57].

Em termos genéricos, existem três teorias diferentes de funções de preferência multi-atributo que podem ser utilizadas para representar as preferências de um decisor. O modelo de preferência multi-atributo **ordinal aditivo** é adequado a situações de certeza e requer independência de preferências mútua. Contudo, implica utilizar técnicas que na prática não são cómodas, forçando o decisor a fazer *tradeoffs* explícitos entre dois ou mais critérios, na determinação das funções de valor definidas para os critérios. As **funções de valor medíveis** também requerem independência de preferências mútua. Este tipo de modelos é bastante intuitivo pois define medidas de força de preferências. Por último, a **teoria multiatributo de utilidade** é um modelo de preferências que se aplica em situações onde a escolha envolve riscos. Este modelo é muito aplicado na decisão multicritério, por exemplo através do AHP [57]. A abordagem MAUT tenta atribuir a cada ação um valor de utilidade, isto é, um número que represente o grau de preferência da ação considerada.

4.2.2.2 UTA

Os métodos UTA (*UTilités Additive*) referem-se à definição de um conjunto de funções de valor e de utilidade, assumindo as bases axiomáticas do MAUT e adotando o princípio de desagregação de preferência. Isto significa que em vez de se saber o processo de agregação de critérios *à priori* e as preferências globais serem desconhecidas, o princípio da desagregação envolve a inferência de modelos de preferência para determinadas preferências globais conhecidas. Assim sendo, os métodos UTA utilizam técnicas de programação linear para inferir funções de valor aditivo ou de utilidade, de acordo com as preferências globais do decisor (princípio da inferência), através da análise do seu comportamento [58].

Existem diversos sistemas de apoio à decisão desenvolvidos com base nos métodos UTA e com diversas aplicações [58]. Assim sendo, estes métodos promovem a interação entre o analista e o decisor na medida em que implicam a verificação da consistência entre o modelo de preferência e as preferências *à priori* do decisor, a definição de valores do modelo (valores, pesos, utilidade...) e a avaliação global de potenciais ações [58].

4.2.2.3 AHP

O método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) foi introduzido por Thomas Saaty em 1976, de modo a ajudar os decisores a incorporar no processo de decisão aspetos qualitativos e quantitativos de um problema complexo [59]. Assim sendo, sendo uma abordagem descritiva ao processo de decisão, tornou-se muito útil em decisões multicritério que envolvessem benefícios (ganhos), oportunidades (potenciais ganhos), custos (perdas) e riscos (potenciais perdas) [60].

O AHP compreende a definição dos critérios de seleção, o cálculo do peso de cada critério (Saaty), *ranking* de alternativas, definição do valor final de cada alternativa e construção do modelo linear [61]. Assim sendo, permite através de juízos comparativos atribuir um valor absoluto da escala fundamental do AHP de 1-9 a pares de critérios (*pairwise comparison*), formando uma escala de valores relativos [60]. Assim sendo, este método representa-se por 3 fases principais: a definição do objetivo, os critérios gerais e subcritérios, e as alternativas existentes. No final do processo de análise, verifica-se uma hierarquia de alternativas, de acordo com os pesos atribuídos aos critérios.

4.2.2.4 MACBETH

Alguns métodos de decisão multicritério fornecem resultados baseados em informação quantitativa. Contudo, por vezes o desempenho das alternativas em relação a alguns critérios é dado por

informação qualitativa, sendo deste modo necessário encontrar uma abordagem matemática capaz de lidar com este tipo de informação. Neste sentido, a técnica designada MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TechNique*) tem em conta as preferências dos decisores de um ponto de vista qualitativo. Requer apenas juízos qualitativos sobre diferenças de valor, de modo a quantificar a atratividade relativa entre opções [62]. Utilizando escalas de referência, fornece um *ranking* de alternativas e guia os decisores para a escolha da melhor alternativa [63].

O *software* M-MACBETH permite a construção de árvores de decisão, com a definição de critérios descritores ou subcritérios, para as alternativas. O decisor fornece informação preferencial entre duas alternativas de cada vez, fazendo um juízo da sua atratividade relativa (juízo ordinal). Se os dois elementos não forem igualmente atrativos, o decisor expressa um juízo qualitativo sobre a diferença de atratividade entre o mais atrativo dos dois elementos e o outro, através das seis categorias existentes disjuntas: “*very weak*”, “*weak*”, “*moderate*”, “*strong*”, “*very strong*” ou “*extreme*”. É construída uma matriz de juízos qualitativos através de *pairwise comparison* entre os elementos. O MACBETH verifica a consistência das respostas e gera uma escala numérica que é representativa dos juízos dados pelo decisor [64]. O M-MACBETH permite ainda detetar automaticamente as inconsistências na matriz de juízos, mesmo para uma matriz incompleta, sugerindo as possíveis alterações para resolver a inconsistência [62]. Por último, permite fazer análises de sensibilidade e de robustez sobre o valor relativo e intrínseco das opções [65]. No Anexo 2 é possível compreender melhor as bases matemáticas do *software* M-MACBETH.

O objetivo do MACBETH não é obter uma solução ótima, mas sim ajudar o decisor a tomar melhor conhecimento do problema em causa [64]. Assim sendo, o MACBETH é uma abordagem humanística (ajuda os decisores), interativa e *user-friendly* (apoiada por protocolos de pergunta-resposta) e construtiva (não existem ideias pré-definidas de decisão, construindo-se preferências “partilhadas”) [65]. Por outro lado, este método facilita a verificação da consistência dos juízos dos decisores, mas também sugere melhoramentos nesses juízos, se se verificarem inconsistentes [63]. Para além disso, o MACBETH tem a capacidade de gerar escalas numéricas através de juízos qualitativos [64], que podem ser mais intuitivos e menos morosos que respostas qualitativas. Contudo, por ser uma interpretação pessoal das diferenças de atratividade, pode provocar ambiguidade de respostas [64]. Por outro lado, a falta de informação sobre os critérios ou opções também pode conduzir a conclusões menos robustas.

No quadro seguinte (Quadro 8) é possível verificar as principais características de cada método definido anteriormente.

Quadro 8 - Caracterização de alguns métodos de Análise Multicritério.

Fonte: Baseado em (2013), An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, International Journal of Operations Research [66].

Métodos de Análise Multicritério	Princípios básicos	Aplicação	Vantagens	Limitações	Exemplos de aplicação
ELECTRE	Método de prevalência (não compensatório), baseado em análises de concordância.	Problema com pelo menos três critérios. Avaliação numa escala ordinal ou de intervalos. Heterogeneidade dos critérios.	Tem em consideração a incerteza. Problema de escolha, <i>ranking</i> ou ordenação (<i>sorting</i>), que introduz um limiar de veto.	Fornece apenas a ordenação de alternativas, sem o desempenho global das alternativas em função dos critérios considerados. Não avalia a coerência dos julgamentos.	Energia, economia, ambiente, recursos hídricos, gestão e problemas de transportes.
PROMETHEE	Método de prevalência que define o <i>ranking</i> de alternativas, baseado no conceito de extensão de critério. Função de preferência para cada critério, aplicando as regras de dominância.	Os critérios podem ser representados em forma de valores.	Facilidade de expressar a importância relativa dos critérios, pois atribui-se números arbitrários aos pesos, sendo posteriormente normalizados.	Implica transformar os critérios qualitativos em valores.	Ambiente, gestão, hidrologia, química, logística e transportes.
MAUT	Utiliza uma função de utilidade para atribuir a cada alternativa um valor de utilidade, isto é, um número que represente o grau de preferência da alternativa considerada.	Múltiplos critérios e variáveis qualitativas.	Tem em conta a incerteza e o risco associado à escolha de alternativas. O desempenho de cada alternativa para cada critério é conhecido.	É um método que requer muita informação. As preferências dos decisores devem ser precisas.	Problemas económicos, financeiros, de energia, gestão e agricultura.
UTA	Conjunto de funções de valor e de utilidade, assumindo as bases axiomáticas do MAUT e adotando o princípio de desagregação de preferência.	Múltiplos critérios e variáveis qualitativas.	Promove a interação entre o analista e o decisor.	É um método que requer muita informação. As preferências dos decisores devem ser precisas.	Gestão financeira, marketing, gestão.
AHP	Utiliza decisões em vários níveis (objetivo, critérios e alternativas), fornecendo uma hierarquia final de opções, através de <i>pairwise comparison</i> , através de escalas de prioridade.	Julgamentos subjetivos. Dados quantitativos e qualitativos. Grupos de decisão.	Facilidade de utilização. Não necessita processamento de dados antes da sua avaliação. Avalia o desempenho. Ranking completo de alternativas.	Quantidade de julgamentos muito elevada para muitas alternativas e critérios. Subjetividade da matriz de preferência. Sujeito a inconsistências nos juízos e no <i>ranking</i> de critérios.	Problemas de desempenho, gestão de recursos, políticas corporativas e estratégicas, planeamento, seleção de tecnologias e fornecedores.
MACBETH	Avalia as diferenças de valor, de modo a quantificar a atratividade relativa entre opções, para cada critério.	Avaliação de opções, baseado em juízos qualitativos do Decisor.	Utiliza juízos qualitativos para gerar escalas quantitativas. Interactivo e de fácil utilização. Deteta inconsistências de juízos.	Interpretação pessoal de preferências.	Variadas, tendo em conta juízos qualitativos de preferências.

4.3 Métodos de apoio à seleção de tecnologias

Na bibliografia existe uma série de ferramentas e metodologias de apoio à decisão aplicadas à seleção de tecnologias ou à escolha entre diferentes fornecedores, principalmente aplicados ao contexto industrial.

Por exemplo, em [67], propõe-se uma interação entre o Método Delphi e o AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Neste caso, o Método Delphi é utilizado para obter informação estratégica sobre o desenvolvimento de tecnologias, por um conjunto de especialistas. O AHP permite avaliar o impacto da tecnologia nos objetivos da organização, tendo em conta a importância dada a cada critério.

Outra metodologia utilizada para a seleção de tecnologias tem em conta três fases, sendo que na primeira fase se definem os objetivos e faz-se uma avaliação preliminar dos critérios, considerando-se aspetos tangíveis e intangíveis. Na segunda fase faz-se nova avaliação dos critérios e selecciona-se a tecnologia. Estas fases designam-se QFD (*Quality Function Deployment*), onde se constroem matrizes que ligam a parte técnica aos requisitos não técnicos dos clientes. Na terceira fase, mede-se o risco associado à escolha de uma alternativa, através do FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) [61].

Em [61], são identificados outros métodos menos precisos de seleção de tecnologias, como o método *Linear Weighted Point*, onde se atribui linearmente pesos aos critérios (muito dependente do fator humano) ou o *Categorical Method*, onde se atribui categorias aos critérios [Satisfatório (+), Neutro (0) e Insatisfatório (-)] para cada tecnologia, calculando-se um rácio total para cada tecnologia. Este método para além de depender muito do fator humano atribui pesos iguais a todos os critérios.

O *Fitness da Tecnologia*, isto é, a adequação da tecnologia a um determinado contexto, pode ser outra abordagem à seleção de tecnologias [68]. Neste caso faz-se uma análise do contexto onde se pretende introduzir a tecnologia a nível de necessidades, expectativas para a tecnologia e restrições.

A seleção de tecnologias pode basear-se numa Análise de Custos [37], tendo em conta critérios como o custo de aquisição, o custo de manutenção, o custo de operação e a precisão das tecnologias. Esta análise permite determinar a melhor solução em termos financeiros, podendo ser efetuadas análises de risco e de sensibilidade.

Nos casos em que o decisor está relutante em fazer investimentos elevados em novos desenvolvimentos tecnológicos, pois tem falta de informação para justificar as novas tecnologias, pode proceder-se a uma Análise Custo-Benefício, tanto a nível financeiro como a nível intangível [38]. Deste modo, determina-se o valor do investimento na tecnologia, permitindo verificar se este investimento compensa em relação aos benefícios introduzidos pela tecnologia.

A variedade de ferramentas de apoio à decisão deve-se à necessidade crescente de tomar decisões de modo mais célere e com uma análise mais criteriosa do problema em questão. Assim sendo, as organizações sentem a necessidade de se apoiar em ferramentas de apoio à decisão que permitam

tomar decisões mais “informadas” sobre a seleção de tecnologias, tendo em conta que a introdução de tecnologias implica um grande investimento das organizações. Se por outro lado, o objetivo de uma organização na seleção de tecnologias é aumentar o desempenho da tecnologia, por outro lado existe a preocupação em reduzir o seu custo. Contudo, a avaliação das tecnologias a selecionar implica não apenas fatores monetários, mas também fatores relacionados com a natureza das tecnologias (fatores técnicos) ou mesmo relacionados com a sua utilização. Assim sendo, o problema de seleção de tecnologias implica uma análise multicritério que tenha em conta esta variedade de critérios de análise.

“O primeiro passo para a formulação de uma ferramenta de apoio à decisão é definir o método a utilizar na avaliação das alternativas tecnológicas. O segundo passo é definir os critérios a utilizar nesse método.” [38]. Assim sendo, a escolha da metodologia a aplicar nesta dissertação teve em consideração as características do problema da seleção de tecnologias de posicionamento, considerando que à partida se iriam definir “Opções Tecnológicas”, isto é, combinações de tecnologias a aplicar na placa do Aeroporto de Lisboa. Neste sentido, e devido à dificuldade em comparar “Opções tecnológicas” em termos de características de desempenho técnico, optou-se por utilizar um método que possibilitasse a avaliação de alternativas de modo mais simples, através da avaliação de opções por juízos qualitativos do avaliador. Por outro lado, devido à variedade de tecnologias existentes, desde logo se compreendeu que as “Opções Tecnológicas” possíveis poderiam ser variadas, razão pela qual não faria sentido utilizar um método de apoio à decisão que fornecesse a solução ótima (melhor opção), optando-se pela necessidade de encontrar as soluções recomendadas através de uma hierarquia de opções. No sentido de fomentar a tomada de decisão mais “informada”, compreendeu-se a necessidade de utilizar uma metodologia de apoio à decisão que implicasse a discussão e o debate, de modo a selecionar as opções tecnológicas, os critérios de decisão e também as ponderações dos critérios. Por outro lado, pretendeu-se usar um método de fácil utilização e mais intuitivo, de modo a permitir a interação e a melhor compreensão do processo pelos avaliadores, sem exigir representações numéricas, tanto no valor atribuído às opções como no processo de ponderação dos critérios. Assim sendo, tendo em conta as características do problema, o envolvimento dos avaliadores e as características dos critérios de avaliação, a escolha do *software* de análise de decisão M-MACBETH tornou-se a mais indicada. Apesar de baseado em interpretações pessoais de preferências, verificou-se que esta desvantagem era compensada pelas restantes características do método e pelo facto de detetar as inconsistências nos juízos de preferências, dando indicações ao decisor sobre as alterações possíveis, durante a estruturação do problema.

5 O Aeroporto de Lisboa

5.1 Caracterização do Aeroporto de Lisboa

Com o desenvolvimento do Céu Único Europeu, surgiram uma série de recomendações e alterações no espaço aéreo europeu para permitir aumentar a capacidade dos aeroportos, garantindo as condições de segurança dos passageiros. Adicionalmente ao plano definido no SES, o seu pilar tecnológico designado SESAR permitiu identificar alterações tecnológicas mais profundas que este plano pretendia implementar até 2020.

Assim sendo, e perante as recomendações do SESAR, algumas alterações têm sido feitas no Aeroporto de Lisboa, no sentido de implementar estas recomendações. Nos últimos anos o Aeroporto de Lisboa tem vindo a modernizar-se, aumentando a oferta de serviços e também as suas infra-estruturas. No entanto, no Aeroporto de Lisboa, as alterações definidas pelo SESAR a nível tecnológico ainda se encontram em fase de implementação. Existem sistemas tecnológicos já implementados de acordo com os requisitos do SESAR mas ainda existem melhorias a considerar em diversas áreas.

Surgiu então a necessidade de caracterizar o Aeroporto de Lisboa neste contexto, compreendendo as suas necessidades específicas em termos tecnológicos e de localização de veículos, pessoas e equipamentos na placa. Para isso, foi feita uma caracterização geral do Aeroporto de Lisboa, de modo a conhecer as suas infra-estruturas, bem como a localização dos dois terminais existentes. Seguidamente foi feito um levantamento das tecnologias existentes na placa e quais as restrições, limitações, vantagens e desvantagens destas tecnologias. Por último, através da análise do processo de *turnaround* no Aeroporto de Lisboa, e tendo em conta os seus intervenientes e as infra-estruturas na placa fez-se um levantamento das necessidades existentes. Ao nível do processo de *Turnaround*, poderá ser possível reduzir os tempos associados às atividades envolvidas através de uma melhor *Situational Awareness* dos veículos, pessoas e equipamentos disponíveis em cada momento.

Através de uma análise a diferentes tecnologias possíveis de aplicar ao Aeroporto de Lisboa, para deteção da posição de veículos na placa, foram identificadas as hipóteses mais plausíveis de ter sucesso, consoante as necessidades identificadas e critérios de avaliação.

O Aeroporto de Lisboa (*código IATA: LIS, código ICAO: LPPT*), conhecido por Aeroporto da Portela, situa-se a 7 km do centro da cidade de Lisboa, na Alameda das Comunidades Portuguesas (LAT - 38° 46' 12" N, LONG - 09° 07' 41" W).

Sendo Lisboa a cidade mais ocidental da zona Euro, representa para além de um ponto de entrada na Europa, um ponto de acesso aos continentes americano e africano. Assim sendo, o Aeroporto de

Lisboa tem vindo a aumentar as suas infra-estruturas de modo a ter capacidade para receber os voos de todo o mundo, oferecendo boas condições aos seus passageiros.

Em 2013, o Aeroporto de Lisboa apresentou um movimento de cerca de 16 milhões de passageiros, tendo capacidade para acolher 38 movimentos de aeronaves por hora (chegadas e partidas), apresentando um máximo de 26 chegadas ou partidas por hora, e ainda 6 movimentos em simultâneo de chegadas e partidas [70].

5.1.1 Infra-estruturas

O Aeroporto de Lisboa é constituído por dois terminais civis e por um terminal militar (Figo Maduro). Para além disso, apresenta duas pistas (de dois sentidos cada): a pista 03/21 e a pista 17/35 (Figura 15). A pista 03/21 tem comprimento de 3,805 km e inicia-se pela antiga freguesia de São João de Brito, pela freguesia do Lumiar, seguindo freguesia de Santa Maria dos Olivais, passando pela Charneca e Camarate, até ao Prior Velho (De SW para NE). A pista 17/35 apresenta 2,304 km e inicia-se nos limites da antiga freguesia de São João de Brito, seguindo pela freguesia de Santa Maria dos Olivais e indo terminar na freguesia de Charneca (De SE para NW).



Figura 15 - Pistas do Aeroporto de Lisboa.

Fonte: www.google.com/maps [69].

O Terminal 1 (Figura 16) situa-se na zona Este do Aeroporto, e recebe os voos de todas as companhias aéreas. O Terminal 2, situado na zona Sul do Aeroporto, faz a partida de voos da *Easyjet*, *Blue Air*, *Norwegian* e *Transavia* [70].



Figura 16 - Terminal 1 do Aeroporto de Lisboa.

Fonte: www.google.com/maps [69].

Junto ao Terminal 2 do Aeroporto de Lisboa, existe uma zona remota (Figura 17), isto é, sem ligação direta às instalações principais do Aeroporto de Lisboa. Nesta zona, o acesso é feito pelos caminhos de circulação.

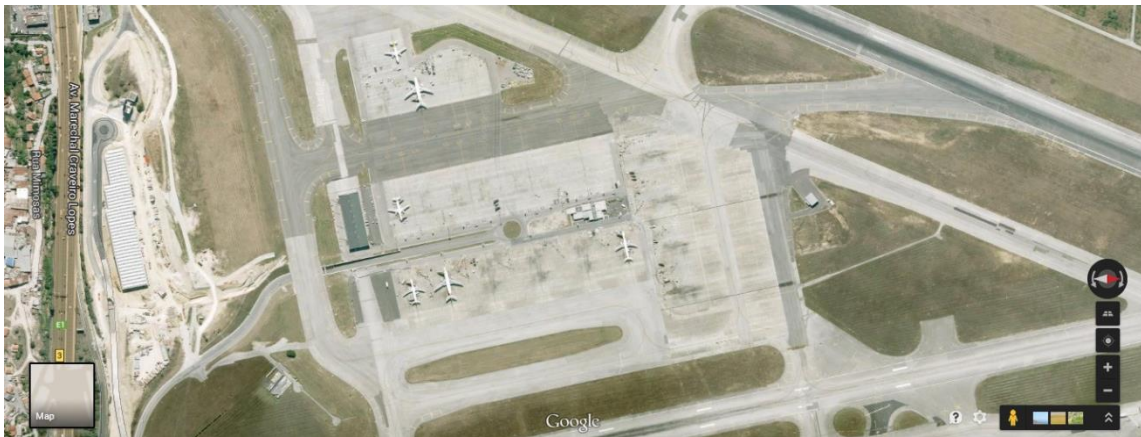


Figura 17 - Terminal 2 e zona remota do Aeroporto de Lisboa.

Fonte: www.google.com/maps [69].

No Anexo 3 é possível observar a planta do Aeroporto de Lisboa, com a localização das suas zonas principais.

5.2 Atividades do processo de *turnaround*

Em relação ao Aeroporto de Lisboa, o processo de *turnaround* (Figura 18) decorre como descrito no Capítulo 2, salvo algumas exceções.

No Aeroporto de Lisboa, as aeronaves que estão no terminal 1 permitem o desembarque de passageiros através da manga diretamente. Por outro lado, na zona remota, o transporte de passageiros até ao terminal é feito por um autocarro.

Aquando do descarregamento de bagagem, é feita uma primeira triagem para verificar se a bagagem está no destino para ser reclamada ou se a bagagem é para introduzir noutra aeronave (caso de escalas de passageiros). Neste último caso, a bagagem vai para o terminal de transferência de bagagem (TBT), onde é direcionada para a aeronave seguinte. Os carros de bagagem transportam a bagagem para a zona de entrada de bagagem (Portão nº 1) onde, através de um sistema de bagagem abaixo do nível 5 (nível do embarque), a bagagem passa por uma série de verificações de segurança até chegar à zona de recolha pelos passageiros.

O serviço de reabastecimento de combustível é efetuado por camião, pois no Aeroporto de Lisboa não existe um depósito de combustível na pista.

Em relação ao *catering*, no Aeroporto de Lisboa existe uma zona de preparação das refeições de modo a acelerar o processo de reposição de comida no *turnaround*.



Figura 18 - Zona de *turnaround* no Aeroporto de Lisboa.

Fonte: www.google.com/maps [69].

O processo de *turnaround* no Aeroporto de Lisboa também implica a interação entre diversas entidades, que estão responsáveis pelas atividades de preparação da aeronave (Quadro 9).

Quadro 9 - Entidades responsáveis pelo *turnaround* no Aeroporto de Lisboa.

Atividade	Responsáveis [70]
<i>Handling</i> de bagagem	GroundForce, Portway, Lufthansa Ground Services Portugal (LGSP).
<i>Catering</i>	CATERINGPOR – Catering de Portugal, SA, NEWREST.
Limpeza	CARFACE, IBERLIM, REPELE.
Abastecimento Combustível	BP, GALP e REPSOL.
Assistência em terra e limpeza de aeronaves	PTS_Portugal, Turismo e Serviços, Multiservicios Aeroportuarios, JET BASE.
Manutenção	AEROME, Heliavia, LAS – Louro Aeronaves e Serviços, LDA, TAP Portugal_Mantenção e Engenharia.
Segurança	SEF (Serviço de Estrangeiros e Fronteiras), Alfândega do Aeroporto de Lisboa, Polícia Judiciária, PSP, GNR, entre outros.

5.2.1 Veículos, equipamentos e pessoas envolvidas

Em cada atividade do processo de *turnaround*, existe uma série de veículos, equipamentos e pessoas envolvidas nas operações, razão pela qual este é um processo muito complexo (Quadro 10). A complexidade do processo aumenta devido à necessidade de realizar atividades em simultâneo e de garantir que os recursos existentes são alocados a cada atividade a tempo, sem gerar atrasos e aumento do tempo de *turnaround*.

No quadro seguinte estão identificados os principais intervenientes nas atividades de *turnaround*, tanto em recursos físicos como em recursos humanos.

Quadro 10 - Veículos, equipamentos e pessoas envolvidas no *turnaround* no Aeroporto de Lisboa.

Atividade	Veículos	Equipamentos	Pessoas
<i>Handling</i> de bagagem	<ul style="list-style-type: none"> → Carts de bagagem → Belt de carregamento → Rebocadores de ULDs (contentores) e de paletes (carga) 	<ul style="list-style-type: none"> → ULDs → Paletes 	<ul style="list-style-type: none"> → Condutores dos veículos de carga e dos rebocadores → <i>Handlers</i> de bagagem
<i>Catering</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Camiões <i>catering</i> 	<ul style="list-style-type: none"> → Sistema de levantamento → Carts/ troleys 	<ul style="list-style-type: none"> → Condutores dos veículos → Pessoal de bordo
Limpeza	<ul style="list-style-type: none"> → Veículo de fornecimento de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> → Carts puxados por rebocador 	<ul style="list-style-type: none"> → Tripulação da aeronave → Condutores dos camiões de limpeza → Equipa de fornecimento de materiais
Abastecimento de Combustível	<ul style="list-style-type: none"> → Camião de combustível → Carros de Bombeiros 		<ul style="list-style-type: none"> → Bombeiros
Água potável e Água de saneamento	<ul style="list-style-type: none"> → Camião com bomba de drenagem → Camião com bomba de água potável 		<ul style="list-style-type: none"> → Tripulação da aeronave → Condutores dos camiões de limpeza
<i>De-icing</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Veículo de <i>De-icing</i> 		<ul style="list-style-type: none"> → Condutor do veículo
Energia Eléctrica		<ul style="list-style-type: none"> → GPU – <i>Ground Power Units</i> 	<ul style="list-style-type: none"> → Operações
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> → Veículo de manutenção 		<ul style="list-style-type: none"> → Pessoas da manutenção
Marshalling	<ul style="list-style-type: none"> → Carro Follow-me 		<ul style="list-style-type: none"> → Condutor Veículo Follow-me
Operações no <i>stand</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Autocarro de passageiros (escadas) → Veículo de <i>push-back</i> 	<ul style="list-style-type: none"> → Calços e cones → Escadas → Ponte 	<ul style="list-style-type: none"> → Agentes de segurança → Colocadores de escadas/ ponte → Condutor do veículo de <i>push-back</i>

5.3 Tecnologias no Aeroporto de Lisboa

No Aeroporto de Lisboa, existe uma série de tecnologias implementadas na placa, que apoiam as operações de assistência em terra. Contudo, não existe ainda nenhum tipo de tecnologia que permita fazer o seguimento dos veículos de assistência.

As recomendações feitas pelo ICAO, através do A-SMGCS ainda não estão implementadas. No entanto, existem projetos em desenvolvimento neste sentido, nomeadamente o *A-Guidance*, que permitirá seguir os veículos na placa.

Apesar de fornecer recomendações, o manual do A-SMGCS, produzido pelo ICAO, não apresenta tecnologias específicas a aplicar, servindo como linha orientadora para a adequação do conceito aos diferentes aeroportos e às suas necessidades específicas. Assim sendo, a grande variedade de tecnologias disponíveis no mercado, acresce a dificuldade em selecionar novos sistemas tecnológicos para o posicionamento e seguimento de veículos, inexistentes neste momento no Aeroporto de Lisboa.

Neste momento, as comunicações entre o pessoal de assistência em terra (*Ground Handling*) efetuam-se por via do sistema designado TETRA, que permite as comunicações via um rádio móvel entre o pessoal responsável pelas operações. Este é neste momento o único meio de “circulação” de informação sobre recursos humanos e físicos entre o pessoal de terra, para assistência no processo de *turnaround*. No entanto, este sistema não deteta o posicionamento do pessoal de assistência às aeronaves.

Na área da placa, do Aeroporto de Lisboa, existe cobertura de rede Wi-Fi, através de diversas antenas de acesso situadas na zona da placa próxima do terminal 2 e na zona remota. Contudo, a utilização deste canal para comunicação e partilha de informação entre o pessoal de assistência em terra é inexistente, devido à sua baixa fiabilidade.

No Aeroporto de Lisboa, a rede Wi-Fi tem capacidade para manter a ligação em toda a área da placa, exceto na pista. A implementação do sistema na pista não se justifica pois implica abrir valas para cabos, postes, etc., para além de não se justificar Wi-Fi nesta área por falta de necessidade.

No Aeroporto de Lisboa, na zona da placa próxima do terminal 1 existe sistemas instalados de cabos de cobre. Na pista, existe ao longo da mesma fibra óptica, para comando e controlo da sinalização luminosa, sendo parte desta sinalização automática, através da existência de grupos geradores que garantem a existência de iluminação na pista em caso de baixa visibilidade e à noite.

As restrições de utilização de equipamentos na placa, perto de aeronaves, baseiam-se na diretiva da União Europeia ATEX (*Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosibles*), que define os equipamentos permitidos num ambiente com uma atmosfera explosiva. Estes equipamentos evitam a

existência, por exemplo, de curto circuitos na área envolvente à aeronave, evitando incêndios na área envolvente.

O sistema de radar primário e secundário é utilizado no Aeroporto de Lisboa, na pista. Neste sentido, em termos de tecnologias de deteção de posicionamento, cada aeronave tem um sistema de deteção (*transponder*) que permite ao controlador de tráfego aéreo do Aeroporto de Lisboa, detetar a posição da mesma na pista, através de multilateração. No entanto, este sistema é desligado depois de a aeronave aterrar e sair da pista, pois estas antenas apresentam emissões de radiação muito elevada, não sendo seguras para as pessoas em redor.

5.4 Necessidades

Através das características identificadas no Aeroporto de Lisboa, foi possível identificar as três principais necessidades de implementação na placa, de apoio às atividades em terra.

Identificou-se as necessidades de prever as alterações de último minuto no *turnaround*, de melhorar a eficiência do processo de assistência em terra, através do conhecimento da disponibilidade de veículos e pessoas na placa, e melhorar a segurança das operações.

De modo a colmatar estas necessidades, seria necessário aumentar o fluxo de informação entre os intervenientes (evitando alterações tardias da *gate* e *stand*) e monitorizar as atividades de assistência em terra e os recursos disponíveis, localizando os recursos físicos (veículos e equipamentos) e humanos (operadores) na zona da placa.

6 Avaliação de Opções Tecnológicas

6.1 Metodologia M-MACBETH

No sentido de apoiar o processo de decisão na seleção de tecnologias a utilizar, a análise multicritério é uma ferramenta que permite avaliar as opções existentes e ajudar os decisores a tomar uma decisão mais fundamentada. Neste sentido, através do *software* de apoio à decisão M-MACBETH [71], foi possível avaliar um conjunto de opções tecnológicas (combinações de tecnologias), através de critérios de avaliação definidos, com vista à elaboração de uma hierarquia de opções.

A construção do modelo de análise multicritério, teve em consideração as fases recomendadas no *software* M-MACBETH (Figura 19).

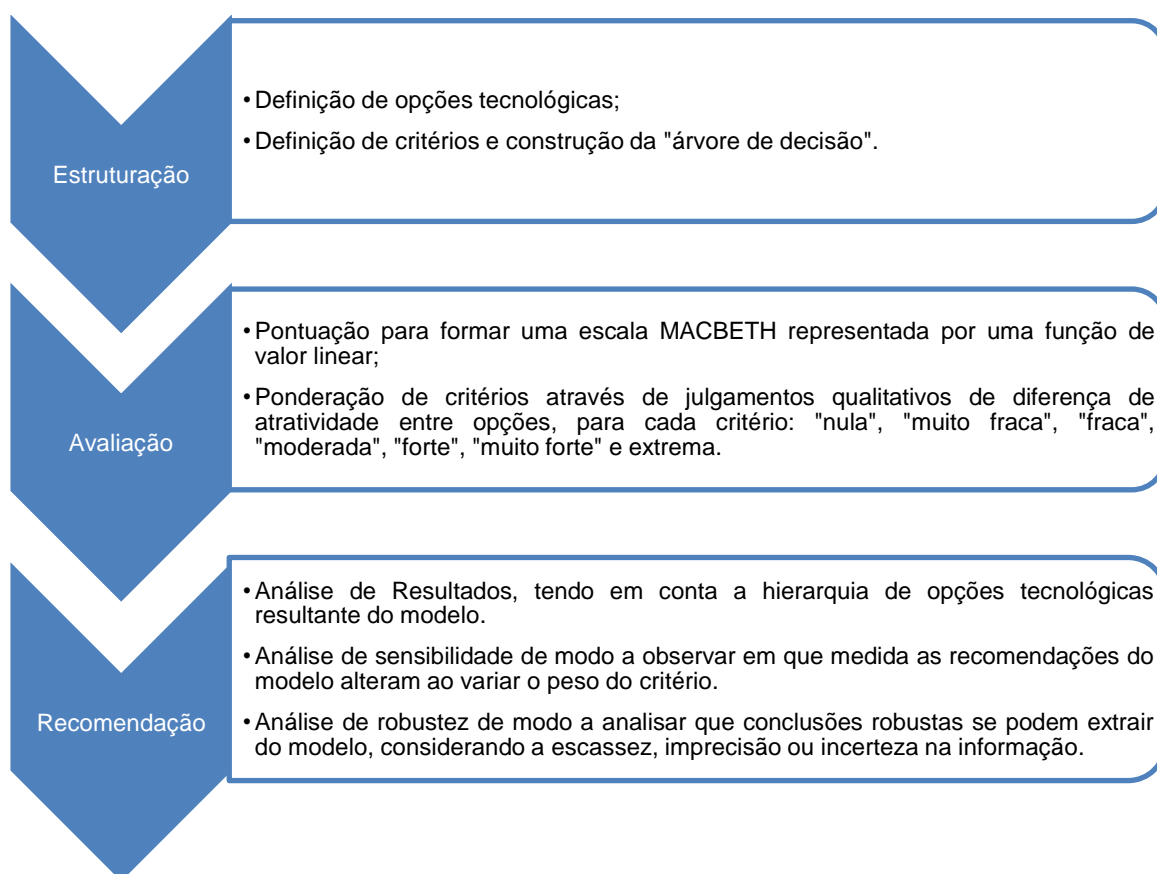


Figura 19 - Metodologia de construção do modelo de análise multicritério do M-MACBETH.

Considerando as necessidades de posicionamento de veículos, pessoas e equipamentos durante o *turnaround* no Aeroporto de Lisboa, existe uma série de tecnologias que se podem aplicar ao caso.

Contudo, a aplicação destas tecnologias depende das suas características técnicas e das infra-estruturas do Aeroporto de Lisboa na placa, nomeadamente em termos de ambiente onde a tecnologia actua (*indoor* ou *outdoor*). Por outro lado, a escolha das tecnologias a aplicar depende de diversos critérios que podem ter importância relativa diferente para cada interveniente. A dificuldade na escolha da tecnologia aumenta pelo facto de ser possível uma complementaridade entre tecnologias diferentes, podendo existir um conjunto vasto de soluções.

Assim sendo, de modo a facilitar o processo de decisão na escolha de uma opção tecnológica, procedeu-se a uma análise multicritério das opções possíveis.

6.2 Estruturação

A estruturação do modelo de análise multicritério consistiu na definição das opções tecnológicas (combinação de tecnologias) a considerar na avaliação, bem como dos critérios a ter em conta nesta avaliação, de modo a formar uma “árvore de decisão”.

6.2.1 Definição de opções tecnológicas

De acordo com as necessidades identificadas no Aeroporto de Lisboa, relativas ao posicionamento de veículos, equipamentos e pessoas na Placa, e analisadas as tecnologias de posicionamento existentes, foi possível definir um conjunto de tecnologias que, de acordo com as suas características, melhor se adaptavam ao caso de estudo.

Considerou-se que o sistema GPS (com *EGNOS*⁴) poderia ser utilizado em toda a área da placa, nas zonas com “linha de visão” para os satélites. Visto já existir o equipamento TETRA em utilização, o objetivo seria ativar um sistema de localização GPS nestes equipamentos, de modo a facilitar a localização das pessoas responsáveis pelas operações na Placa do Aeroporto de Lisboa. Contudo, a utilização unicamente de GPS conduziria à baixa fiabilidade do sistema em zonas da placa cobertas ou com obstáculos à transmissão do sinal GPS. Assim sendo, verificou-se a necessidade de combinar o GPS com sistemas que permitissem saber o posicionamento mesmo em caso de baixa “linha de visão” com os satélites ou mesmo em zonas de transição exterior/ interior na placa. De modo a colmatar os problemas identificados na utilização apenas de GPS, surgiu a possibilidade de utilizar câmaras de vídeo, com posições fixas, de modo a comparar a posição do *objeto* com a posição numa grelha de calibração. Através de um conjunto de *frames*, poderia ser possível fazer o seguimento desse *objeto*, podendo detetar a presença de equipamentos e pessoas. Neste caso, as limitações existentes na utilização de câmaras de vídeo fixas, nomeadamente as zonas de “sombra”

⁴ *European Geostationary Navigation Overlay Service* é um sistema complementar europeu que permite melhorar a precisão dos sinais de satélite, corrigindo o posicionamento.

das câmaras poderiam ser compensadas pelo sistema GPS, tendo que existir uma combinação entre os dois sistemas. O vídeo teria o problema de não conseguir identificar os veículos (não identificando qual é qual), embora pudesse conseguir detetá-los e segui-los. Por outro lado, poderia ser difícil relacionar a identificação de um veículo seguido por GPS com a identificação gerada por vídeo (por exemplo, se na mesma altura, no mesmo local existissem diversos veículos próximos uns dos outros que não permitissem desambiguar a sua identificação por vídeo).

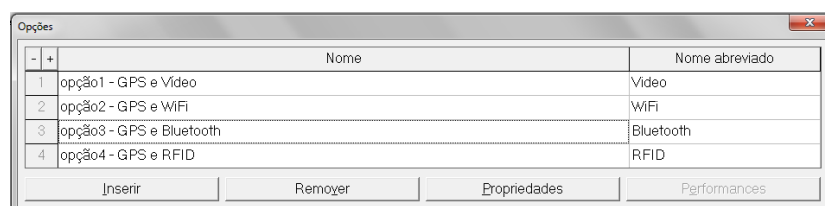
Tendo em conta a existência de um sistema Wi-Fi na zona da Placa no Aeroporto de Lisboa, pensou-se na possibilidade de utilizar este sistema em combinação com o GPS, para saber o posicionamento nas zonas com menor desempenho unicamente do sistema GPS. Neste caso propôs-se a utilização deste sistema para deteção de equipamentos e pessoas nas zonas interiores, através da deteção de sinal pelas antenas já existentes no local.

Outra possibilidade de posicionamento seria combinar o sistema GPS com o Bluetooth, que funcionaria de forma semelhante ao Wi-Fi, baseado em redes móveis e nos sinais transmitidos entre as antenas e os dispositivos. Esta opção seria mais fiável e provavelmente de menor custo.

Por último, considerou-se a utilização de RFID, isto é, identificação por radio-frequências, em combinação com o GPS. Neste caso, a deteção de posição seria feita através de um sistema de *tags*, que estariam acoplados aos veículos, sabendo-se a sua posição em tempo-real. A RFID para além de apresentar custos relativamente modestos, poderia também complementar o WiFi ou o Bluetooth, identificando passagens em determinados pontos.

De modo a responder aos requisitos do Aeroporto de Lisboa, chegou-se a estas tecnologias tendo em conta as características apresentadas por cada uma delas e devido à facilidade de combinar estas tecnologias com o sistema GPS.

A combinação destas tecnologias permitiu definir quatro opções tecnológicas (Figura 20), consideradas as alternativas de decisão na análise multicritério desenvolvida no *software* M-MACBETH: GPS e Vídeo, GPS e Wi-Fi, GPS e Bluetooth, GPS e RFID.



	Nome	Nome abreviado
1	opção1 - GPS e Vídeo	Vídeo
2	opção2 - GPS e WiFi	WiFi
3	opção3 - GPS e Bluetooth	Bluetooth
4	opção4 - GPS e RFID	RFID

Figura 20 - Opções do modelo de análise multicritério.

6.2.2 Definição de critérios e construção da “árvore de decisão”

Após definidas as opções tecnológicas a ter em conta no processo de decisão, foi necessário definir um conjunto de critérios para avaliar as opções.

A definição dos critérios de avaliação das opções tecnológicas teve em conta a opinião de especialistas⁵ de modo a confirmar a sua operacionalidade e de modo a serem uma base de decisão credível. Assim sendo, os critérios considerados de maior importância na avaliação das opções tecnológicas, e considerados no *software* M-MACBETH foram:

- Cobertura - Alcance, zona ou área onde o desempenho do sistema deve ser garantido por um sistema de posicionamento;
- Precisão - A precisão de posicionamento é o grau de aproximação de uma posição medida ou estimada, num determinado momento, com o valor real [24];
- Fiabilidade - Capacidade de um sistema manter o seu funcionamento em circunstâncias normais, bem como em circunstâncias inesperadas;
- Interoperabilidade - Capacidade do sistema se adaptar a outro existente e de interagir e comunicar com outro sistema;
- Custo – Considerado o custo geral do sistema.

Através do *software* M-MACBETH, construiu-se uma árvore de decisão (Figura 21) com os “nós-critério” (representados a vermelho), de modo a avaliar as opções tecnológicas definidas.

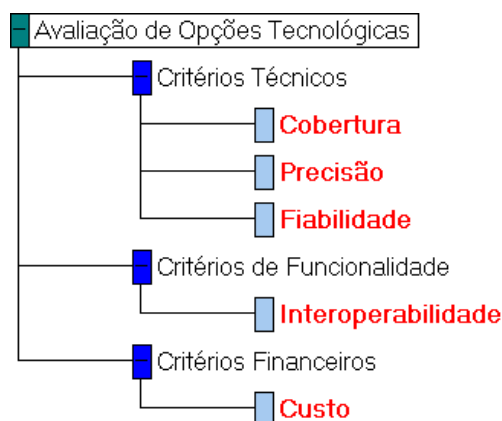


Figura 21 - Critérios de avaliação das opções tecnológicas considerados no *software* M-MACBETH.

⁵ Engenheiro Duarte Gouveia (Reunião de 06/03/2014 e 25/09/2014, na ANA aeroportos) e Engenheiro João Mira (Reunião 17/09/2014, no Instituto Superior Técnico).

Para escolher os critérios de avaliação das alternativas foi necessário proceder a uma análise dos possíveis critérios de avaliação de tecnologias, de modo a definir um conjunto mais reduzido de critérios a utilizar na avaliação das opções tecnológicas propostas.

Assim sendo, perante a diversidade de critérios de avaliação de tecnologias (Capítulo 3.4), concluiu-se que era possível não considerar alguns critérios identificados em cada área, de modo a garantir a sua independência, ou a facilitar a avaliação das opções pelo avaliador. Optou-se, por exemplo, por considerar o critério “Custo” na avaliação no *software* M-MACBETH, como um critério genérico, pela dificuldade de avaliação precisa dos custos separadamente, em cada opção. Considerou-se mais adequado utilizar este critério de modo a ser possível avaliar os custos subjetivamente para cada opção, não exigindo uma avaliação tão rigorosa de cada tipo de custo.

Por outro lado, avaliou-se a relevância dos critérios para o problema em causa, chegando-se à conclusão de que alguns critérios não teriam elevada importância na avaliação das opções tecnológicas. Concluiu-se, por exemplo, que existiam critérios com maior importância na escolha de uma opção tecnológica para a placa do Aeroporto de Lisboa, nomeadamente a “Cobertura” e a “Precisão”, na medida em que estes critérios eram os requisitos mínimos para saber o posicionamento de veículos, equipamentos e pessoas na placa, em tempo-real. O critério “Ambiente” foi considerado *a priori*, na escolha das opções tecnológicas a avaliar no M-MACBETH, de modo a garantir o funcionamento em condições *indoor* e *outdoor*. Neste sentido, este critério não chegou a ser considerado na avaliação das opções tecnológicas no *software* M-MACBETH. Considerou-se que o critério “Taxa de atualização” já estaria implícito no critério “Precisão”, na medida em que quanto mais rápida a taxa de atualização de informação num sistema de posicionamento, maior é a precisão do sistema. Deste modo, eliminou-se o critério “Taxa de atualização” na avaliação das opções tecnológicas. Considerou-se que o critério “Continuidade” não seria necessário nesta avaliação, na medida em que no critério “Robustez” já estaria implícita a ideia de, mesmo sem o sistema funcionar em contínuo, não se perder qualidade na informação de posicionamento. Tendo em consideração os pontos de vista dos especialistas, tentou-se “agrupar” alguns critérios de modo a serem o mais abrangentes possível para o caso. Neste sentido, considerou-se que o critério “Fiabilidade” seria mais abrangente do que a “Robustez” e seria mais compreensível para o avaliador das opções tecnológicas, na medida em que garantiria o funcionamento do sistema mesmo em circunstâncias inesperadas.

Em relação aos critérios de funcionalidade do sistema, considerou-se que o critério “Facilidade de Utilização” era desadequado tendo em conta as opções tecnológicas escolhidas, na medida em que as opções tecnológicas apenas oferecem um método de recolha de informação de posicionamento, não estando em causa nesta avaliação a forma como os dados são transmitidos aos utilizadores, nem os equipamentos onde os utilizadores têm acesso à informação. Concluiu-se que a “Complexidade” do sistema em termos de *hardware* e *software* utilizado não seria um fator a ter em conta na seleção da opção tecnológica, pois habitualmente este critério reflectir-se-ia nos custos do sistema. Por último, agrupou-se os critérios “Flexibilidade” e “Interoperabilidade”, considerando no M-MACBETH o critério “Interoperabilidade”.

Depois de definidos os critérios de avaliação, definiu-se para cada critério uma base de comparação, de modo a ser possível avaliar as opções tecnológicas. No *software* M-MACBETH pode fazer-se uma comparação direta entre “As opções”, avaliando a sua atratividade relativa, ou entre “As opções + 2 referências”, avaliando a atratividade intrínseca de cada opção, com base em duas referências. Por outro lado, o *software* permite fazer uma comparação indireta entre as opções, avaliando a atratividade das opções no critério, usando uma função de valor que converte o desempenho das opções em pontuações. As desempenhos das opções podem ser “Níveis quantitativos de desempenho” ou “Níveis qualitativos de desempenho”, definidos para cada critério.

Para a avaliação das opções tecnológicas, optou-se por utilizar uma base de comparação indireta, através da atribuição de níveis qualitativos de desempenho para cada nó-critério, de modo a avaliar a atratividade das opções no critério indiretamente. A escolha deste método de comparação deveu-se, por um lado, à dificuldade em comparar diretamente as opções tecnológicas em cada critério e, por outro, com a necessidade de compreender melhor o “valor” dado pelo avaliador a cada critério na avaliação das opções tecnológicas. Por último, teve-se em consideração a utilização deste método de comparação indireta aplicado à seleção de fornecedores de tecnologias [62], através de atribuição de níveis de desempenho qualitativos, facilitando a avaliação do desempenho das tecnologias.

Para operacionalizar os critérios, associou-se a cada um deles um descritor de desempenhos, isto é, um conjunto ordenado de níveis qualitativos de desempenho (Figura 22). Neste caso considerou-se 5 níveis de desempenho para cada critério, de modo a avaliar o seu desempenho: “Muito Elevado” (ME), “Elevado” (E), “Médio” (M), “Suficiente (S) e “Baixo” (B).

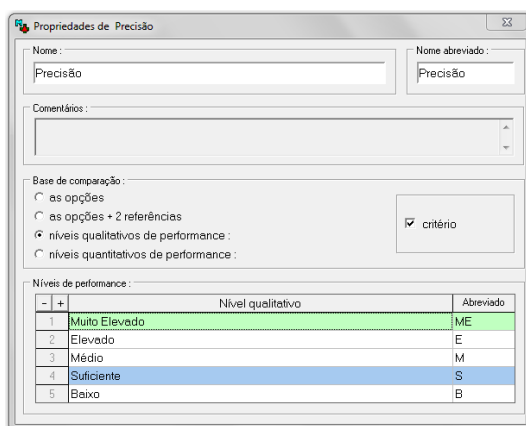


Figura 22 - Definição de níveis qualitativos de desempenho para o critério “Precisão”.

Tendo em conta os níveis de desempenho definidos anteriormente, para cada opção foi introduzido no M-MACBETH um nível de desempenho, para cada critério (Figura 23), de acordo com as características das opções consideradas. As entrevistas para a caracterização das tecnologias consideradas decorreram entre os meses de Março e Setembro de 2014, com especialistas da ANA

Aeroportos⁶ e da Thales Portugal⁷. A atribuição de níveis de desempenho foi feita tendo em conta esta caracterização, considerando a entrevista de 24 de Setembro de 2014, na ANA aeroportos. Posteriormente, a 6 de Outubro de 2014, de acordo com o modelo construído, foram re-analisadas as apreciações dadas inicialmente, chegando aos níveis de desempenho finais.

Opções	Cobertura	Precisão	Fiabilidade	Interoperabilidade	Custo
Vídeo	ME	ME	M	M	E
WiFi	E	M	M	E	M
Bluetooth	M	E	E	M	S
RFID	M	ME	ME	M	B

Figura 23 - Tabela de desempenhos das opções para cada critério.

6.3 Avaliação

Depois de definidas as alternativas e os critérios de avaliação no M-MACBETH, com os seus níveis de desempenho, iniciou-se a construção da matriz de julgamentos MACBETH.

6.3.1 Pontuação

Para cada critério, começou por ordenar-se os níveis de desempenho definidos anteriormente, através da Matriz de Julgamentos MACBETH. Esta ordenação teve em conta em primeiro lugar se algum dos níveis de desempenho era mais atrativo que outro.

Tendo em conta a ordenação existente, avaliou-se as diferenças de atratividade entre os níveis de desempenho definidos para cada critério, através dos julgamentos qualitativos M-MACBETH: “Extrema”, “Muito Forte”, “Forte”, “Moderada”, “Fraca”, “Muito Fraca” e “Nula” (quando não existe diferença de atratividade).

Definiu-se então a diferença de atratividade entre dois níveis de desempenho de cada vez, até preencher a matriz de julgamentos MACBETH, para cada critério (Figura 24). Após o preenchimento da matriz de julgamentos, refinou-se os juízos dados, tendo em conta as recomendações dadas pelo *software*, no que diz respeito à existência de inconsistências verificadas.

Através destes juízos qualitativos, o *software* M-MACBETH transformou os dados qualitativos em escalas MACBETH de pontuação, isto é, escalas quantitativas para cada critério.

⁶ A 06/03/2014 com o Eng. Duarte Gouveia, (Direção Técnica Aeroportuária); a 03/04/2014 com o Eng. Duarte Gouveia e o Eng. António Pinho (Direção de Sistemas e Tecnologias de Informação e Comunicação); a 24/09/2014 com o Eng. Duarte Gouveia.

⁷ A 17/07/2014 com o Eng. João Mira (Technology & Innovation).

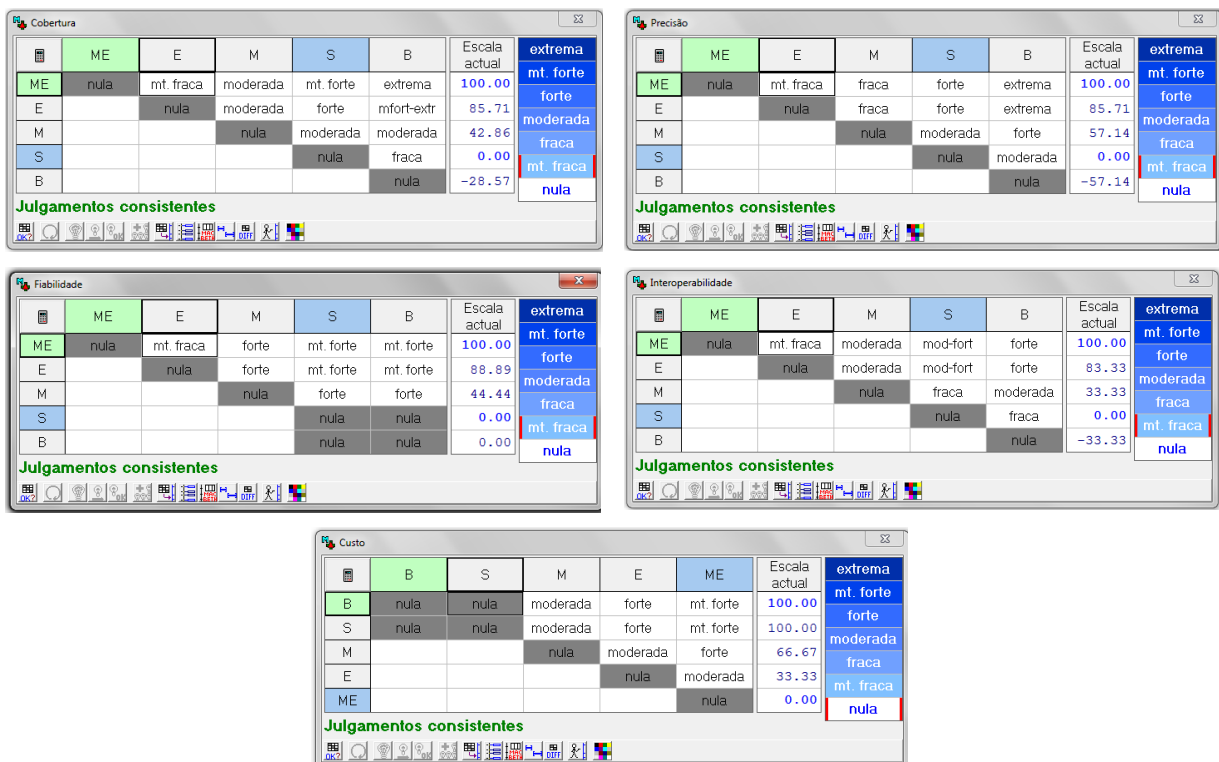


Figura 24 - Matrices de julgamentos MACBETH, para cada critério.

6.3.2 Ponderação

A ponderação de critérios exigiu a definição das referências superior e inferior de ponderação, para cada critério, pois a atribuição de pesos aos critérios tem que ser feita com referência às escalas de impacto dos critérios. Assim sendo, para cada critério foram definidos níveis de referência superiores e inferiores (Figura 25), de modo a decidir sobre o valor intrínseco de cada opção avaliada, e a converter os níveis qualitativos de desempenho numa função de valor, “balizando” a avaliação das opções.

Referências globais	Cobertura	Precisão	Fiabilidade	Interoperabilidade	Custo
[Cobertura]	ME	ME	ME	ME	B
[Precisão]	E	E	E	E	S
[Fiabilidade]	M	M	M	M	M
[Interoperabilidade]	S	S	S	S	E
[tudo inf.]	B	B	B	B	ME

Figura 25 - Referências de ponderação para cada critério.

Para os critérios “Cobertura”, “Precisão”, “Fiabilidade” e “Interoperabilidade”, considerou-se o nível de desempenho “Muito Elevado” como a referência superior e o nível de desempenho “Suficiente” como a referência inferior. Para o critério “Custo”, teve-se em atenção que a referência superior seria

considerada o valor mais baixo, logo, tendo um nível de desempenho “Baixo” e a referência inferior seria o nível “Muito Elevado”.

A definição dos níveis de referência não é obrigatória [63]. No entanto, a definição destes valores *a priori* permitiu definir o valor do critério considerado e perceber a diferença de preferência entre esses níveis.

Tendo em conta as referências dadas a cada critério e a sua pontuação, através do M-MACBETH foi possível ordenar os critérios por ordem de importância, através da ordenação dos pesos dos critérios. Seguidamente fez-se uma avaliação qualitativa da diferença de atratividade global dos critérios de avaliação considerados (Figura 26), através dos julgamentos qualitativos M-MACBETH: “Extrema”, “Muito Forte”, “Forte”, “Moderada”, “Fracas”, “Muito Fraca” e “Nula”.

	[Cobertura]	[Precisão]	[Fiabilidade]	[Custo]	[Interoperabilidade]	[tudo inf.]	
[Cobertura]	nula	nula	moderada	forte	forte	positiva	extrema
[Precisão]	nula	nula	moderada	forte	forte	positiva	mt. forte
[Fiabilidade]			nula	mt. fraca	moderada	positiva	forte
[Custo]				nula	moderada	positiva	moderada
[Interoperabilidade]					nula	positiva	fraca
[tudo inf.]						nula	mt. fraca
							nula

Figura 26 - Ponderação entre critérios de avaliação no M-MACBETH.

Considerou-se os critérios “Cobertura” e “Precisão” como os requisitos mínimos para uma opção tecnológica oferecer as condições necessárias para o desempenho do posicionamento, razão pela qual a sua diferença de atratividade foi considerada “nula”, isto é, com a mesma atratividade. Também foi considerado que os critérios “Fiabilidade” e “Custo” eram critérios com diferença de atratividade “mt. fraca” pois considerou-se que a escolha de uma opção tecnológica teria que garantir fiabilidade no seu funcionamento, mas que por vezes teria que existir um “trade-off” entre a fiabilidade e o custo na escolha da solução. Na prática, por vezes seria preferível optar por uma solução mais fiável mas mais cara, ou vice-versa, sendo portanto fatores avaliados quase em simultâneo.

Seguidamente foi possível obter uma escala de ponderação dos critérios (Figura 27), a partir da matriz de julgamentos, podendo de igual modo ajustar as barras (pesos) dos critérios. O modelo construído conduziu à ponderação dos critérios “Cobertura” e “Precisão” com igual valor de 32%. Seguidamente observou-se que o critério “Fiabilidade” teria um valor de ponderação de 18% e o critério “Custo” teria um valor de ponderação de 14% na

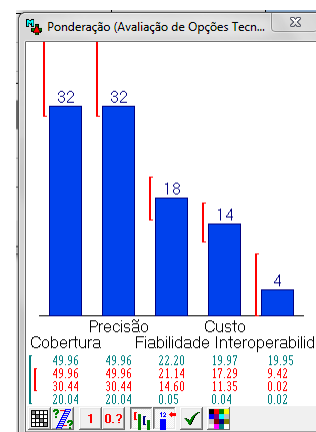


Figura 27 - Escala de ponderação de critérios na Avaliação das Opções Tecnológicas.

avaliação das Opções Tecnológicas. Por último, observou-se que o critério “Interoperabilidade” representava apenas 4% de ponderação na avaliação global das opções.

6.4 Recomendação

Tendo em conta a avaliação das opções tecnológicas efetuada, obteve-se uma hierarquia de opções tecnológicas, que permitiram ser um apoio à decisão sobre a melhor opção a aplicar ao caso de estudo.

6.4.1 Análise de Resultados

Os resultados obtidos por este modelo de apoio à decisão, construído através do *software* M-MACBETH, permitiram chegar a pontuações globais calculadas para cada opção tecnológica (combinação de tecnologias) através do M-MACBETH (Figura 28).

Opções	Global	Cobertura	Precisão	Fiabilidade	Interoperabilidade	Custo
Vídeo	78.00	100.00	100.00	44.44	33.33	33.33
WiFi	66.38	85.71	57.14	44.44	83.33	66.67
Bluetooth	72.48	42.86	85.71	88.89	33.33	100.00
RFID	79.05	42.86	100.00	100.00	33.33	100.00
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.3200	0.3200	0.1800	0.0400	0.1400

Figura 28 - Tabela MACBETH de pontuações globais.

Tendo em consideração os resultados obtidos, analisou-se a contribuição da pontuação de uma opção num critério, para a sua pontuação global, através dos perfis ponderados de cada opção (as barras fornecem uma visualização gráfica das pontuações da opção relativamente às referências globais).

Observando os resultados propostos, chegou-se à conclusão de que a melhor opção tecnológica a adotar seria o sistema GPS com RFID, apresentando uma pontuação global de 79.05%. Este valor elevado pode ser atribuído à pontuação elevada do critério Precisão apresentada pela opção tecnológica (Figura 29), critério com elevada ponderação na avaliação global (32%). Para além disso, apresentou ainda elevada Fiabilidade, critério que representava cerca de 18% da ponderação global atribuída a esta opção. A segunda melhor opção seria a combinação GPS e Câmaras de vídeo,

apresentando uma pontuação global de 78%. Observou-se que este elevado valor de pontuação global seria atribuído principalmente à elevada Cobertura e Precisão desta opção (Figura 30), e dos elevados valores de ponderação destes critérios. Apesar de esta ter sido a opção mais desfavorável em termos do critério Custo (pontuação de 33,33%), para este critério a ponderação global era de apenas cerca de 14%, não tendo sido tão preponderante, como os anteriores critérios referidos, para a pontuação global.

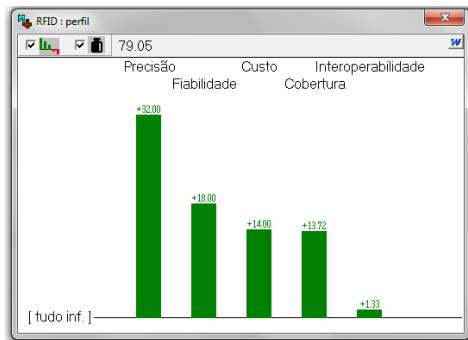


Figura 29 - Perfil ponderado da opção RFID.

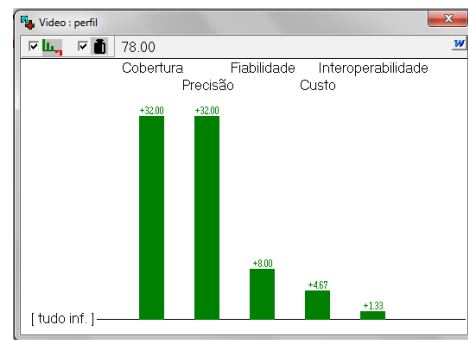


Figura 30 - Perfil ponderado da opção Vídeo.

Em terceiro lugar nesta hierarquia de opções tecnológicas ficou a combinação de GPS com Bluetooth, apresentando uma pontuação global de aproximadamente 72%. Neste caso verificou-se que esta opção tinha menor pontuação no critério Cobertura (com ponderação de 32%), o que justificaria a pontuação global mais baixa (Figura 31). Em último lugar na hierarquia de opções tecnológicas ficou a opção de GPS e Wi-Fi, com 66,38% de pontuação global. Apesar de ser a opção a apresentar maior Interoperabilidade (pontuação de 83,33%), este critério tinha uma ponderação baixa, de apenas 4%, não contribuindo para aumentar o valor da pontuação global da opção (Figura 32).

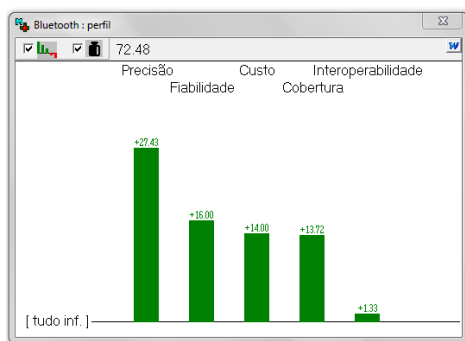


Figura 31 - Perfil ponderado da opção Bluetooth.

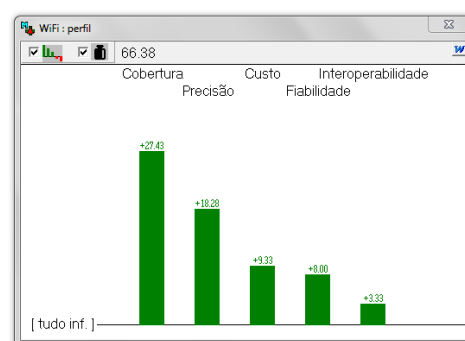


Figura 32 - Perfil ponderado da opção WiFi.

Observou-se ainda que os critérios Precisão e Fiabilidade apresentaram para esta opção valores de pontuação mais baixos, comparativamente com as restantes opções, o que reduziu a pontuação global da opção, visto terem valores elevados de ponderação de 32% e 18%, respetivamente.

O MACBETH conduziu a uma hierarquia de opções tecnológicas (Quadro 11) recomendadas para aplicar ao caso de estudo, tendo em conta os critérios de avaliação Cobertura, Precisão, Fiabilidade, Custo e Interoperabilidade.

Quadro 11 - Hierarquia de Opções Tecnológicas.

Opção Tecnológica	Lugar na hierarquia	Avaliação global (%)
GPS+RFID	1º	79,05
GPS+Vídeo	2º	78,00
GPS+Bluetooth	3º	72,48
GPS+WiFi	4º	66,38

Como foi possível observar, as diferenças de pontuação global entre as opções consideradas foram muito baixas. Estes resultados permitiram confirmar a dificuldade que existe na seleção de opções tecnológicas, principalmente quando existe combinação entre diferentes tecnologias. Por outro lado, conduziram à análise dos perfis de diferenças entre as opções, através das diferenças de pontuações nos critérios. As diferenças positivas (barras verdes) indicaram os critérios em que a desempenho da primeira opção era mais atrativa e as diferenças negativas (barras laranjas) os critérios em que a desempenho da segunda opção era mais atrativa. As diferenças nulas indicavam igual atratividade no critério respetivo.

Entre as opções RFID e Vídeo, a diferença de pontuação global foi de apenas cerca de 1%. Analisando os perfis de diferenças entre estas duas opções (Figura 33), observou-se que a desempenho da opção RFID nos critérios Fiabilidade e Custo era superior à opção Vídeo. Em relação ao critério Cobertura, a opção Vídeo, seria melhor que o RFID, apesar de mais cara.

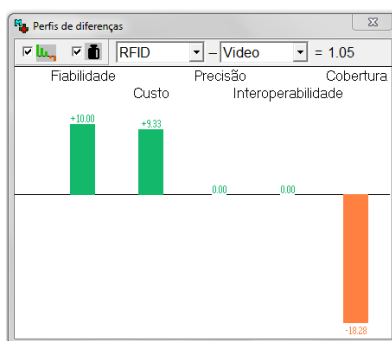


Figura 33 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções RFID e Vídeo.

Entre a opção Vídeo e a opção Bluetooth observou-se que a diferença de pontuação global era de cerca de 5,5%. Neste caso, observou-se melhor desempenho da opção vídeo em relação aos critérios Precisão e Cobertura, sendo este último com elevada desempenho quando comparada com a opção Bluetooth. No entanto, a opção Bluetooth apresentou melhor desempenho nos critérios Fiabilidade e Custo (Figura 34). Assim sendo, o custo elevado da opção Vídeo seria “compensado” pelo seu melhor desempenho nos critérios Cobertura e Precisão, comparativamente com a opção Bluetooth.

Por último, a diferença de pontuação global de cerca de 6% entre as opções Bluetooth e WiFi poderia ser explicada pelo melhor desempenho da opção Bluetooth nos critérios Precisão, Fiabilidade e Custo, comparada com a opção WiFi, que apresentava melhor desempenho no critério Cobertura (Figura 35). Neste caso, a elevada ponderação no critério Interoperabilidade na opção WiFi não foi suficiente para colocar esta opção acima das restantes na hierarquia de opções, devido à baixa ponderação global deste critério (4%).

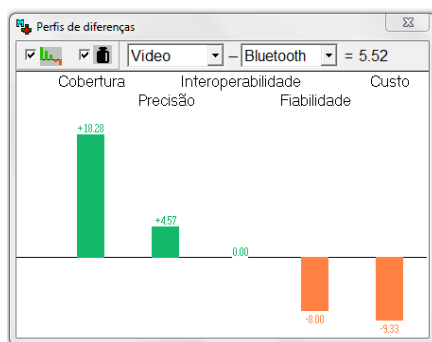


Figura 34 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções Vídeo e Bluetooth.

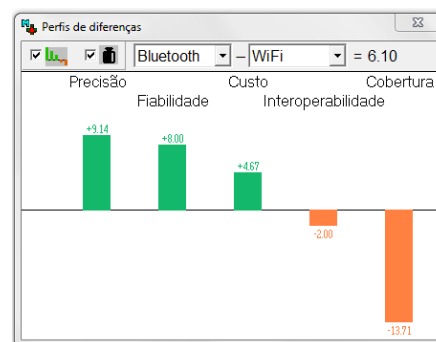


Figura 35 - Diferenças de pontuação ponderadas entre as opções Bluetooth e WiFi.

Através do MACBETH foi possível identificar as melhores Opções Tecnológicas para cada área de critérios. Em termos de critérios técnicos, as opções Vídeo e RFID surgiram como as melhores. Em termos de funcionalidade o WiFi seria a melhor opção tecnológica, o que faria sentido considerando que nesta opção utilizar-se-ia um sistema já existente no aeroporto de Lisboa. Por último, em termos financeiros observou-se que as opções RFID e Bluetooth seriam as melhores (Figura 36).

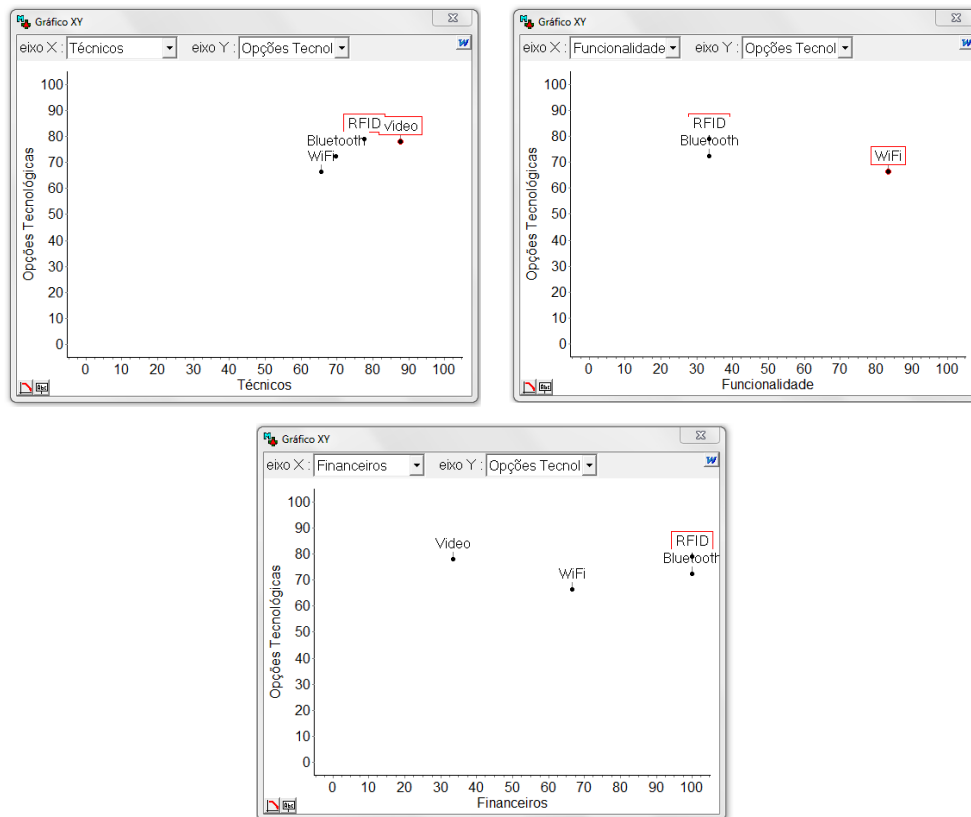


Figura 36 - Avaliação de opções tecnológicas tendo em conta as áreas de critérios de avaliação.

6.4.2 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade permite observar em que medida as recomendações do modelo construído alteram ao variar o peso dos critérios considerados, mantendo a relação entre os pesos dos critérios. Neste sentido, efetuou-se uma análise de sensibilidade ao peso de cada critério, de modo a verificar se ao variar o peso atribuído a um critério, a hierarquia de opções tecnológicas resultante do modelo se alterava.

Os gráficos resultantes do *software* M-MACBETH apresentam para cada critério a variação da pontuação global de cada opção, quando o peso do critério varia entre 0 e 100%.

➤ CrITÉrio Cobertura

Este critÉrio apresentou inicialmente uma ponderaÉo de 32%, onde a hierarquia de opÉes tecnolgicas seria: 1º opÉo RFID, 2º opÉo VÍdeo, 3º opÉo Bluetooth, 4º opÉo WiFi.

Ao fazer uma anÁlise de sensibilidade no peso do critÉrio Cobertura (Figura 37), verificou-se que fazendo ligeiras variaÉes da ponderaÉo para este critÉrio (dentro dos limites 19,74% e 49,96%), verificar-se-iam alteraÉes na hierarquia.

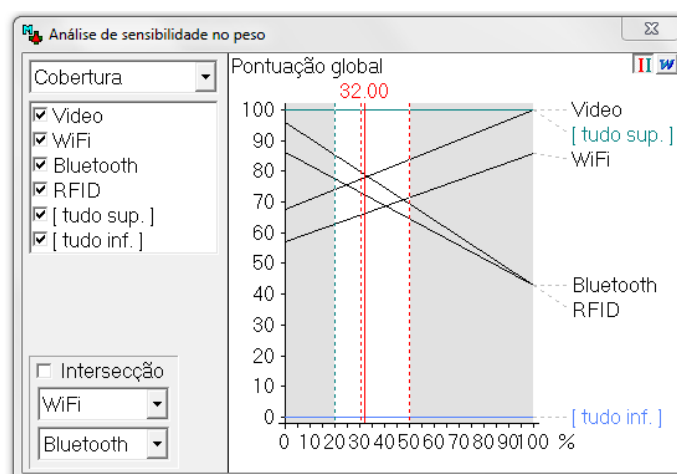


Figura 37 - AnÁlise de sensibilidade no peso do critÉrio Cobertura.

Considerando, por exemplo, uma ponderaÉo do critÉrio Cobertura acima de 32,4%, a opÉo VÍdeo passaria a figurar em primeiro lugar na hierarquia de opÉes e a opÉo RFID passaria para segundo, com alteraÉes nas pontuaÉes globais das opÉes tecnolgicas (Figura 38).

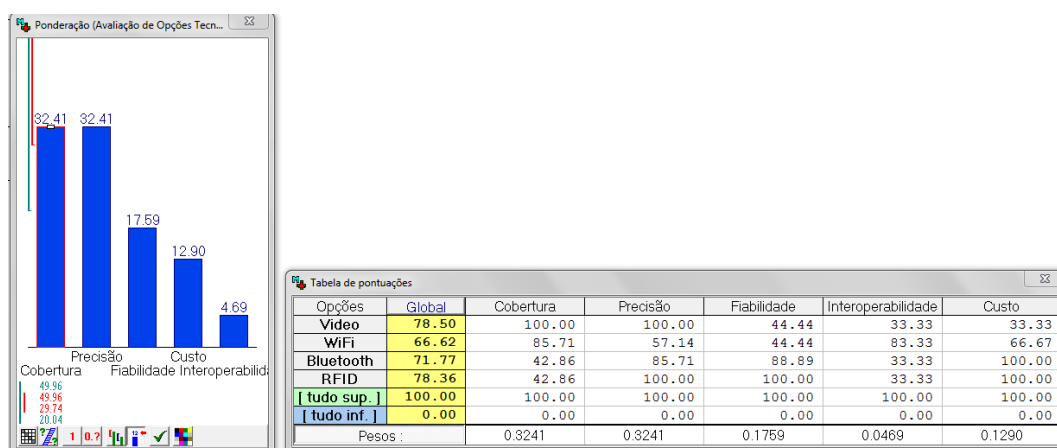


Figura 38 - AlteraÉo de hierarquia de opÉes tecnolgicas para ponderaÉo de 32,4% no critÉrio Cobertura.

Observou-se ento que o modelo era muito sensÍvel à variaÉo do peso do critÉrio Cobertura, na medida em que uma ligeira variaÉo de peso de 32% para 32,4% provocaria uma alteraÉo na hierarquia de opÉes tecnolgicas.

➤ Critério Precisão

Este critério apresentou inicialmente uma ponderação de 32%, onde a hierarquia de opções tecnológicas seria: 1º opção Vídeo, 2º opção RFID, 3º opção Bluetooth, 4º opção WiFi.

Ao fazer uma análise de sensibilidade ao peso do critério Precisão (Figura 39), verificou-se que a redução da ponderação do critério para um valor abaixo de 32% (até ao limite admissível de 19,74%) não conduziria a alterações na hierarquia.

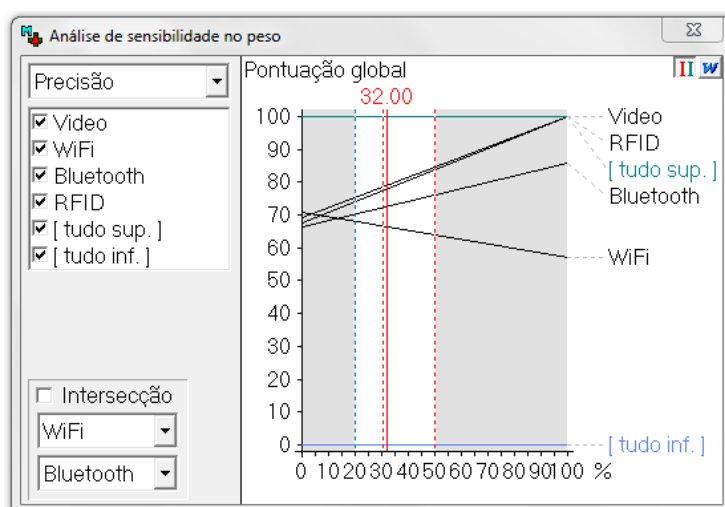


Figura 39 - Análise de sensibilidade no peso do critério Precisão.

A partir de uma ponderação de 32,4%, à semelhança do que aconteceu no critério Cobertura, a opção Vídeo passaria a figurar em primeiro lugar na hierarquia de opções e a opção RFID passaria para segundo. A ligeira variação de peso de 32% para 32,4% provocaria uma alteração na hierarquia de opções tecnológicas, provando a elevada sensibilidade do modelo neste critério. Apenas uma subida da pontuação neste critério acima de 40% provocaria uma alteração de posição entre as opções WiFi e Bluetooth, passando a figurar em 3º e 4º lugares na hierarquia, respetivamente (Figura 40).

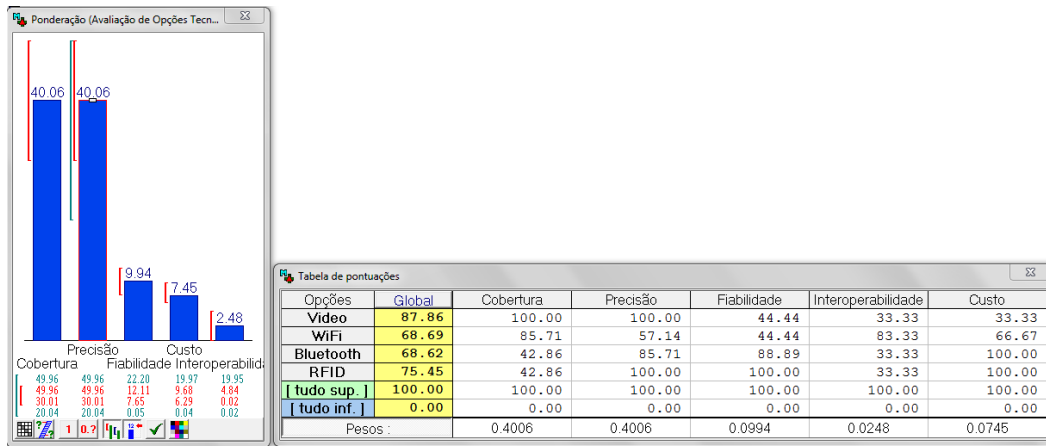


Figura 40 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 32,4% no critério Cobertura.

➤ Critério Fiabilidade

Este critério apresentou inicialmente uma ponderação de 18%, onde a hierarquia de opções tecnológicas seria: 1º opção RFID, 2º opção Vídeo, 3º opção Bluetooth, 4º opção WiFi.

Ao fazer uma análise de sensibilidade ao peso do critério (Figura 41), verificou-se que fazendo ligeiras variações da ponderação para este critério, verificar-se-iam alterações na hierarquia. Por exemplo, considerando uma ponderação abaixo de 16,9 % no critério Fiabilidade, as opções Vídeo e RFID trocariam de lugar na hierarquia de opções tecnológicas (Figura 42). O modelo mostrou ser muito sensível também neste critério.

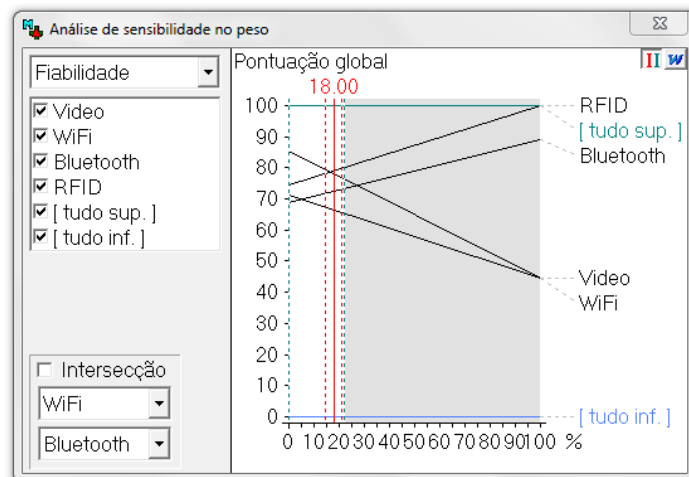


Figura 41 - Análise de sensibilidade no peso do critério Fiabilidade.

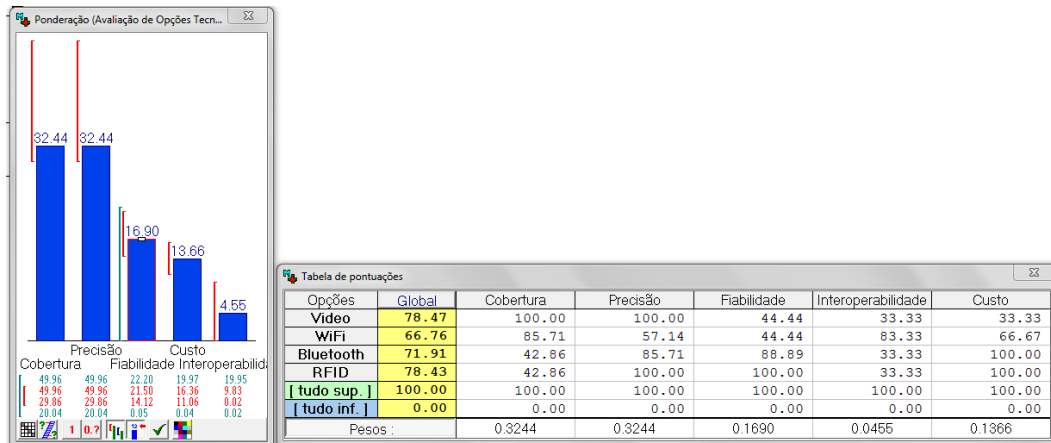


Figura 42 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 16,9% no critério Fiabilidade.

➤ Critério Custo

Este critério apresentou inicialmente uma ponderação de 14%, onde a hierarquia de opções tecnológicas seria: 1º opção RFID, 2º opção Vídeo, 3º opção Bluetooth, 4º opção WiFi.

Verificou-se que para este critério, o limite admissível de ponderação do critério seria bastante pequeno, entre 11,35% e 17,29%. Ao fazer uma análise de sensibilidade (Figura 43), verificou-se que fazendo ligeiras variações da ponderação para este critério, verificar-se-iam alterações na hierarquia, apresentando elevada sensibilidade. Por exemplo, considerando uma ponderação abaixo de 12,6% na hierarquia de opções (Figura 44), a opção Vídeo passaria a figurar em primeiro lugar e a opção RFID passaria para segundo. Contudo, entre os 12,6% e os 17,3%, a hierarquia de opções tecnológicas não alteraria no critério Custo.

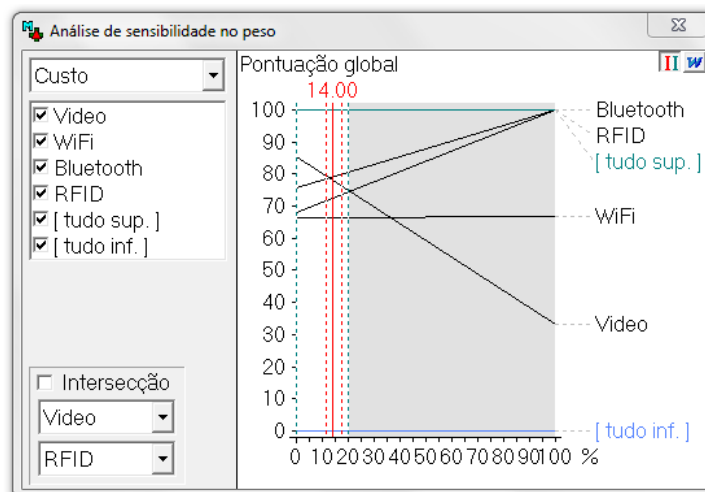


Figura 43 - Análise de sensibilidade no peso do critério Custo.

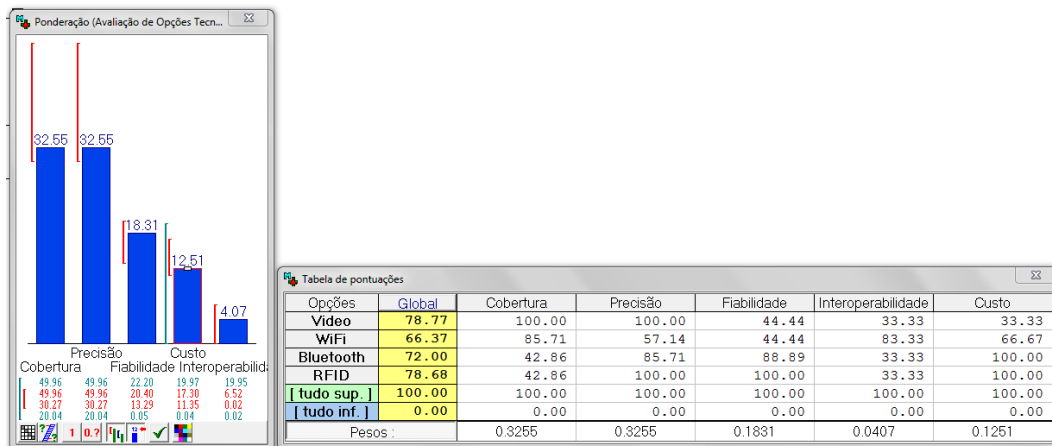


Figura 44 - Alteração de hierarquia de opções tecnológicas para ponderação de 12,51% no critério Custo.

➤ Critério Interoperabilidade

Este critério apresentou inicialmente uma ponderação de 4%, onde a hierarquia de opções tecnológicas seria: 1º opção RFID, 2º opção Vídeo, 3º opção Bluetooth, 4º opção WiFi.

Ao fazer uma análise de sensibilidade ao critério Interoperabilidade (Figura 45), verificou-se que, dentro dos limites possíveis de variação da ponderação (entre 0,03% e 9,42 %) do critério, não se verificariam alterações na hierarquia de opções tecnológicas. Logo, o modelo seria pouco sensível a variações na ponderação deste critério.

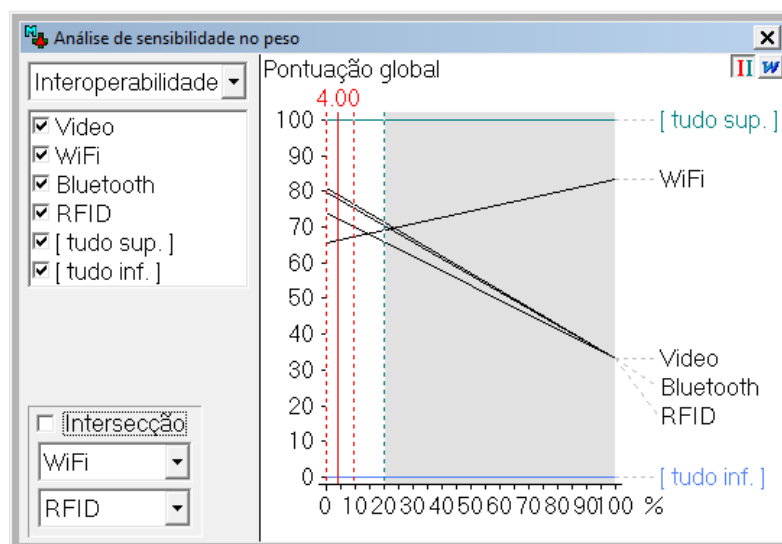




Figura 45 - Análise de sensibilidade no peso do critério Interoperabilidade.

6.4.3 Análise de Robustez

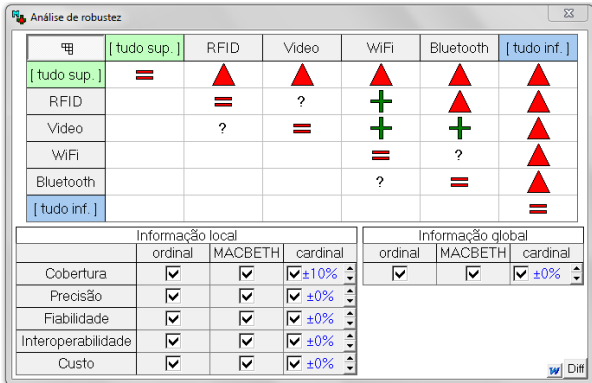
Durante a construção do modelo de análise multicritério por vezes tem-se por base informação incompleta, imprecisa ou incerta. A análise de robustez permite analisar que conclusões robustas se podem retirar do modelo, tendo em conta esta incerteza.

Através do *software* M-MACBETH, procedeu-se à análise de robustez do modelo construído, tendo em conta a seguinte simbologia:

	<i>Situação de "dominância": uma opção domina outra opção se for pelo menos tão atrativa quanto a outra em todos os critérios e se for mais atrativa do que outra em pelo menos um dos critérios.</i>
	<i>Situação de "dominância aditiva": uma opção domina aditivamente outra opção se, para um determinado conjunto de restrições na informação, resultar sempre globalmente mais atrativa do que a outra opção da aplicação do modelo aditivo.</i>

Através da análise de robustez concluiu-se que a opção RFID era sempre dominante sobre a opção Bluetooth, analisando o modelo através da informação ordinal (ordenação excluindo informação de diferença de atratividade, isto é, intensidade de preferência) e através de informação MACBETH, que inclui os julgamentos introduzidos no modelo.

Considerando níveis variados de incerteza nas pontuações das opções num critério (informação local cardinal), confirmou-se a dominância da opção RFID sobre a opção Bluetooth. Por exemplo, para uma incerteza de 10% na pontuação dada ao critério Cobertura, a opção RFID apresentou dominância aditiva sobre a opção WiFi. Ainda foi possível verificar dominância aditiva da opção Vídeo sobre WiFi e Bluetooth (Figura 46).



	[tudo sup.]	RFID	Vídeo	WiFi	Bluetooth	[tudo inf.]
[tudo sup.]	=	▲	▲	+	▲	▲
RFID		=	?	+	▲	▲
Vídeo		?	=	+	+	▲
WiFi				=	?	▲
Bluetooth				?	=	▲
[tudo inf.]						=

	Informação local			Informação global		
	ordinal	MACBETH	cardinal	ordinal	MACBETH	cardinal
Cobertura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±10%	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±0%
Precisão	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±0%			
Fiabilidade	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±0%			
Interoperabilidade	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±0%			
Custo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	±0%			

Figura 46 - Análise de robustez.

A análise de robustez permitiu confirmar que os resultados obtidos eram robustos, confirmando a hierarquia de opções tecnológicas obtidas no modelo construído (1º GPS+RFID, 2º GPS+Vídeo, 3º GPS+Bluetooth, 4º GPS+WiFi).

6.4.4 Apresentação de resultados

O modelo de avaliação multicritério desenvolvido, através do *software* M-MACBETH, permitiu chegar a uma hierarquia de opções tecnológicas, tendo em consideração a ponderação dos critérios de avaliação Cobertura, Precisão, Fiabilidade, Custo e Interoperabilidade (Quadro 12).

Quadro 12 - Resultados do Modelo.

Opções	Ordem	Pontuação Global (%)	Cobertura	Precisão	Fiabilidade	Custo	Interoperabilidade
GPS+RFID	1º	79,05	42,86	100,00	100,00	100,00	33,33
GPS+Vídeo	2º	78,00	100,00	100,00	44,44	33,33	33,33
GPS+Bluetooth	3º	72,48	42,86	85,71	88,89	100,00	33,33
GPS+WiFi	4º	66,38	85,71	57,14	44,44	66,67	83,33
Pesos (%)			32	32	18	14	4

Tendo em consideração os resultados obtidos, analisou-se a contribuição da pontuação de uma opção num critério, para a sua pontuação global. Observou-se que a elevada pontuação global da opção GPS+RFID (1º lugar) seria atribuída às pontuações elevadas nos critérios Precisão e Fiabilidade. Para a opção GPS+Vídeo (2º lugar), a elevada pontuação global deveu-se às pontuações elevadas nos critérios Cobertura e Precisão, sendo a mais desfavorável no critério Custo. A opção GPS+Bluetooth (3º lugar) apresentou pontuação baixa no critério Cobertura. Por último, a opção GPS+WiFi (4º lugar) apresentou a pontuação global mais baixa devido à baixa pontuação nos critérios Precisão e Fiabilidade.

Analisando as diferenças de pontuação global entre as opções consideradas, observou-se que foram muito baixas: entre as opções RFID e Vídeo, a diferença de pontuação global foi de apenas cerca de 1%; entre a opção Vídeo e a opção Bluetooth observou-se uma diferença de pontuação global de cerca de 5,5%; a diferença de pontuação global entre as opções Bluetooth e WiFi foi de cerca de 6%. Este resultado conduziu à necessidade de compreender as diferenças nas pontuações atribuídas a cada critério, para cada opção, permitindo também confirmar a dificuldade que existe na seleção de opções tecnológicas. Por outro lado, conduziu à necessidade de avaliar a sensibilidade do modelo construído, de acordo com a variação dos pesos atribuídos aos critérios.

Observou-se que em termos de critérios técnicos, as opções Vídeo e RFID seriam as melhores. Em termos de usabilidade o WiFi seria a melhor opção tecnológica e em termos financeiros as opções RFID e Bluetooth seriam as melhores.

Através da análise de sensibilidade aos pesos dos critérios observou-se que o modelo era muito sensível à variação do peso dos critérios Cobertura e Precisão, pois uma ligeira variação de 0,4% acima da ponderação inicial (32%) poderia alterar a hierarquia de opções tecnológicas, passando a opção GPS+Vídeo a figurar em 1º lugar e a opção GPS+RFID a figurar em 2º lugar. A mesma alteração na ordem hierárquica se verificava quando o critério Fiabilidade tinha ponderação 1,1% abaixo da inicial (18%) ou o critério Custo tinha ponderação 1,6% abaixo da inicial (14%), apresentando o modelo elevada sensibilidade também para estes critérios. Contudo, o modelo apresentou-se pouco sensível a variações no peso do critério Interoperabilidade, não se verificando alterações na hierarquia de opções tecnológicas.

Considerando a hierarquia definida e a sensibilidade do modelo, seria recomendável optar pela solução de combinação de GPS e RFID. Contudo, a solução combinada de GPS e Vídeo poderia ser uma opção a adotar, sabendo a elevada sensibilidade do modelo ao variar ligeiramente os pesos dos critérios Cobertura, Precisão, Fiabilidade e Custo. No entanto, o facto de o custo ser bastante mais elevado na opção GPS+Vídeo, permite afirmar que na prática a escolha da opção GPS+RFID seria mais recomendável.

A pequena diferença de pontuação global observada na hierarquia de opções tecnológicas permite afirmar que todas as opções seriam igualmente interessantes, o que seria de esperar pois para chegar a estas opções foi necessário proceder a uma primeira análise das suas características e da sua capacidade de se adaptarem ao Aeroporto de Lisboa.

Através da análise de robustez, considerando a hierarquia de opções tecnológicas obtida através do modelo, confirmou-se a dominância da opção RFID sobre a opção Bluetooth. Confirmou-se também a dominância aditiva da opção RFID sobre a opção WiFi e opção Vídeo sobre as opções WiFi e Bluetooth.

7 Conclusões

Através das recomendações do SESAR, a partir da iniciativa “Céu Único Europeu” (SES), foram propostas algumas alterações operacionais a aplicar nos aeroportos europeus, de modo a melhorar a eficiência dos processos de assistência em terra e a segurança na zona da placa de um aeroporto. Estes objetivos seriam alcançados nomeadamente através da melhoria da *Situational Awareness*, o que implicaria o conhecimento de todas as atividades envolvidas nas operações de assistência de uma aeronave, incluindo os recursos e informações, em tempo real.

Considerando que o Aeroporto de Lisboa se encontra numa fase inicial de adaptação às recomendações tecnológicas do SESAR e ao conceito de *Situational Awareness*, verificou-se no aeroporto a necessidade de prever as alterações de último minuto no *turnaround* (assistência à aeronave) na placa, de melhorar a eficiência do processo de assistência em terra, através do conhecimento da disponibilidade de veículos e pessoas na placa, e melhorar a segurança das operações. Neste sentido, de forma a colmatar estas necessidades, para além de melhorar a partilha de informação entre os intervenientes, seria necessário monitorizar as atividades de assistência em terra e os recursos disponíveis, localizando os recursos físicos (veículos e equipamentos) e humanos (operadores) na zona da placa.

No sentido de saber o posicionamento destes recursos (veículos, equipamentos e pessoas) na placa do Aeroporto de Lisboa, será necessário implementar sistemas tecnológicos, tendo em conta as restrições do local. Assim sendo, considerando as características das tecnologias de posicionamento existentes e a opinião de especialistas, identificou-se um conjunto de opções tecnológicas (combinação de tecnologias) possíveis de implementar no Aeroporto de Lisboa: opção GPS e Vídeo, opção GPS e Wi-Fi, opção GPS e Bluetooth, opção GPS e RFID. O principal objetivo da dissertação foi avaliar este conjunto de soluções tecnológicas, de modo a fazer uma recomendação sobre a opção a aplicar no Aeroporto de Lisboa.

Através da análise multicritério, com o apoio do *software* M-MACBETH, avaliou-se as opções tecnológicas, considerando os critérios de avaliação: Cobertura, Precisão, Fiabilidade, Custo e Interoperabilidade. A definição de critérios de avaliação mostrou-se um processo moroso, mas determinante na avaliação das opções tecnológicas, pois permitiu compreender os pontos de vista dos intervenientes no processo de decisão, permitindo adaptar as opções tecnológicas ao caso de estudo.

Construindo o modelo de análise multicritério, de acordo com os juízos fornecidos, foi possível definir pontuações para os critérios de avaliação e chegar a uma hierarquia de opções tecnológicas (Quadro 13).

Quadro 13 – Hierarquia de opções tecnológicas resultante do modelo.

Opções	Ordem	Pontuação Global (%)
GPS+RFID	1º	79,05
GPS+Vídeo	2º	78,00
GPS+Bluetooth	3º	72,48
GPS+WiFi	4º	66,38

Os resultados obtidos permitem recomendar a opção tecnológica de combinação do sistema GPS com a RFID como a melhor solução a aplicar no Aeroporto de Lisboa. Contudo, a opção que combina o sistema GPS e o Vídeo também poderá ser adotada.

Apesar dos resultados obtidos serem robustos, ficou patente a dificuldade em avaliar as opções tecnológicas, ao verificar que os resultados das pontuações globais de cada opção eram muito próximos. Assim sendo, seria possível também aplicar as opções que combinavam o GPS e o Bluetooth ou mesmo a opção de GPS com WiFi. Neste sentido, todas as opções seriam igualmente interessantes, o que seria de esperar pois para chegar a estas opções foi necessário proceder a uma primeira análise das suas características e da sua capacidade de se adaptarem ao Aeroporto de Lisboa.

Os critérios com maior peso na análise multicritério foram a Cobertura e a Precisão, seguidos pelos critérios Fiabilidade e Custo, sendo o critério Interoperabilidade pouco considerado na avaliação das opções tecnológicas. Observou-se que na avaliação de tecnologias, os critérios Cobertura e Precisão foram considerados em simultâneo, pois correspondem aos requisitos mínimos que garantem o bom desempenho do sistema de posicionamento. Ao critério Fiabilidade foi dada maior importância do que o Custo, pois a fiabilidade no sistema de posicionamento garantiria o seu funcionamento em condições inesperadas. A Interoperabilidade teve relativamente baixa influência na análise. Os resultados apresentaram-se muito sensíveis em todos os critérios, excetuando o critério Interoperabilidade, confirmando ser aceitável a utilização de qualquer opção tecnológica.

A avaliação das opções teve em consideração a subjetividade inerente aos juízos de valor de diferença de atratividade entre os critérios e os níveis de desempenho das alternativas. Neste sentido, os resultados decorrentes do modelo construído apresentam algumas limitações porque dependem de interpretações pessoais, tanto na seleção de critérios de avaliação como na definição das alternativas de decisão. Por outro lado, os juízos fornecidos poderiam estar logo *a priori* sujeitos a enviesamentos partindo de informação errada em relação às tecnologias que foram analisadas na generalidade, não tendo em conta especificamente as suas características de desempenho técnico. A avaliação de uma opção tecnológica (combinação de tecnologias) não é tão rigorosa como a avaliação individual de cada tecnologia. A avaliação das opções por níveis de desempenho qualitativo permitiu construir funções de valor, mas menos rigorosas, relativas às preferências do decisor.

A implementação de sistemas de posicionamento no Aeroporto de Lisboa deverá trazer benefícios ao aeroporto, nomeadamente na melhoria da eficiência do processo de assistência em terra de

aeronaves, permitindo localizar os recursos físicos e humanos disponíveis na placa, verificar a sua disponibilidade, e fazer alterações de alocação de veículos e equipamentos às aeronaves em tempo real. Por outro lado, poderá aumentar a segurança das aeronaves (e pessoas) num aeroporto, localizando equipamentos ou pessoas em zonas seguras. Em suma, aumentar o fluxo de informação e conhecimento entre todos os intervenientes poderá trazer melhorias significativas ao aeroporto.

O principal desafio que se apresenta é a aplicação dos sistemas tecnológicos de acordo com os requisitos do SESAR, nos prazos definidos pelo mesmo, tendo em conta as restrições orçamentais existentes e encarando a necessidade de melhorar o sistema, devido ao aumento de tráfego verificado no Aeroporto de Lisboa.

Perante o estudo desenvolvido, considera-se que a realização de mais entrevistas e a participação de um maior número de intervenientes no processo de análise multicritério poderia conduzir a resultados mais robustos.

A avaliação de opções tecnológicas poderia ser melhorada através de análises mais rigorosas às áreas de cobertura do local, de modo a saber as infraestruturas necessárias (número de equipamentos e *software*) para cobrir as áreas necessárias, combinar as tecnologias e conhecer os custos reais dos sistemas. Para além dos custos de aquisição de cada opção, poderiam ser calculados os custos de manutenção, operação e instalação totais de cada opção, de modo a proceder a uma análise custo-benefício de cada opção. No entanto, apesar de mais rigorosa, esta avaliação implicaria um processo muito mais moroso de avaliação das alternativas, comparativamente com o método utilizado.

Considerando os elevados investimentos necessários para implementação de sistemas de posicionamento num aeroporto, considera-se também que as soluções poderiam ser testadas na realidade (em pequena escala), de modo a compreender o funcionamento dos sistemas e a sua adequabilidade real ao Aeroporto de Lisboa.

Seria interessante alargar o estudo do posicionamento de equipamentos e pessoas ao lado terra do Aeroporto de Lisboa, por exemplo através da localização de operadores do aeroporto, localização de passageiros, localização de bagagem e localização de “carros de bagagem” no aeroporto.

Referências bibliográficas

- [1] Report of the High Level Group for the future European Aviation Regulatory Framework (2008): “European Aviation: A framework for driving desempenho improvement”, July 2007, Change and challenge in European Air Traffic Management, Policy and Strategy, ATM, International Airport Review, issue 3.
- [2] EUROCONTROL, 7-Year Forecast IFR Flight Movements and Service Units Forecast: 2013-2019, STATFOR Doc493, v1.0, 28/02/2013.
- [3] EUROCONTROL (2013), EUROCONTROL Seven-Year Forecast, STATFOR.
- [4] SESAR, European ATM Master Plan: The Road Map for Sustainable Air Traffic Management, file:///C:/Users/Mariana/Downloads/European%20ATM%20Master%20Plan%20Edition_2%20Oct-2012%20[2].pdf, Outubro 2012, consultado em Janeiro de 2014.
- [5] SESAR Joint Undertaking, <http://www.sesarju.eu/>, 2014, consultado em Janeiro de 2014.
- [6] Comissão Europeia, SES 2+ - Cost and Flight efficiency, http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/ses2plus/cost-flight-efficiency.pdf, 2013, consultado em Fevereiro de 2014.
- [7] Comissão Europeia, SES 2+ - Facts and Figures, http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/ses2plus/facts-and-figures.pdf, 2013, consultado em Fevereiro de 2014.
- [8] Comissão Europeia, SES 2+ - Institutional Matters, http://ec.europa.eu/transport/modes/air/single_european_sky/doc/ses2plus/institutional-matters.pdf, 2013, consultado em Fevereiro de 2014.
- [9] David Macmillan, *Change and challenge in European Air Traffic Management*, Policy and Strategy, International Airport Review, Issue 3, 2008.
- [10] SESAR Joint Undertaking, <http://www.sesarju.eu/discover-sesar/workpackages-summary>, 2014, consultado em Janeiro de 2014.
- [11] Comissão Europeia, “What is the SESAR Project?”, <http://ec.europa.eu/transport/modes/air/sesar/>, 2013, consultado em Fevereiro de 2014.
- [12] TITAN D1.4 “Operational Concept Document (Issue 1)”, INECO, Version 1.0, October 2010.
- [13] Phaal, R., Farrukh, C.J.P., Probert, D.R. (2004), Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution, *Technological Forecasting & Social Change*, 71, 5-26.

- [14] Vatananan, R. S., Gerdri, N. (2012), The current state of technology roadmapping (TRM) research and practice, *International Journal of Innovation and Technology Management*, Vol 9, No. 4 1250032, 1-20.
- [15] Ashford, N., Stanton, H.P.M., Moore, C.A. (1997). *Airport Operations*, 2ª Edição. McGraw-Hill, USA.
- [16] Wells, A. T., Young, S. B. (2004), *Airport Planning & Management*, 5ª Edição. McGraw-Hill, USA, cap. 1 e 4.
- [17] ICAO (2005), Global Air Traffic Management Operational Concept, Doc 9854 Global OCD.
- [18] Linköping Studies in Science and Technology Licentiate Thesis No. 1388 Airport Logistics – Modeling and Optimizing the Turn-Around Process Anna Norin Department of Science and Technology Linköping University, SE-601 74 Norrköping, Sweden Norrköping 2008.
- [19] ICAO (2004), Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual, Doc 9830.
- [20] TITAN D1.1 (2010), “Analysis of the current situation”, SLOT Consulting, version 1.0.
- [21] TITAN_D3.1 (2010), “Validation-strategy”, ISD, version1.0.
- [22] Troy Barnett, Improving Ramp/ Terminal Operations for Shorter Turn-Times, http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_08/pdfs/AERO_Q408_article04.pdf, 2008, consultado em Março de 2014.
- [23] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. (2007), Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. In: *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics - Part C: Applications and reviews*, Vol. 37, No. 6, 10.
- [24] Mautz, R. (2012), Indoor Positioning Technologies: Application for Venia Legendi in Positioning and Engineering Geodesy, Habilitation Thesis submitted to ETH Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, ETH Zurich.
- [25] Moreno, D., Ochoa, S.F., Survey on Resource Positioning, Computer Science Department, University of Chile.
- [26] LaMarca, A., Lara, E., Location Systems – An Introduction to the Technology Behind Location Awareness (2008), Morgan & Claypool, pp. 1, 61.
- [27] Papagiannakis, G., Singh, G., Magnenat-Thalmann, N. (2008), A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems, *MIRALab, University of Geneva, Switzerland and Center for the Study of Mobile Devices and Communication, Naval Postgraduate School, USA, California.

- [28] K. Muthukrishnan, M. Lijding and P. Havinga, Towards smart surroundings: enabling techniques and technologies for localization, Location- and Context-Awareness, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin, vol. 3479, pp. 350-362, 2005.
- [31] EMMA Project Partners, State of the art in A-SMGCS, Doc. D1.1.1 Version 1.0, 2005.
- [29] A. Roxin, et. al., Survey of wireless geolocation techniques, IEEE Globecom Workshops, 2007.
- [32] H. Gao, et. al., Safe airport operation based on innovative magnetic detector system, Intelligent Transport Systems (IET), vol.3, no.2, pp. 236-244, 2009.
- [30] J. Besada, et. al., Image-based automatic surveillance for airport surface, 4th International Conference on Information Fusion, Montreal, 2001.
- [33] Wi-Fi Alliance, <http://www.wi-fi.org/certification>, 2014, consultado em Maio de 2014.
- [34] TETRA Standard, <http://www.tandcca.com/about/page/12320>, 2014, consultado em Abril de 2014.
- [35] Terrestrial Trunked Radio, http://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio, consultado em Abril de 2014.
- [36] Ruiz-López, T., Garrido, J., Benghazi, K., Chung, L. (2010), A survey on indoor positioning systems: foreseeing a quality design, Distributed Computing and Artificial Intelligence, pp. 373-380.
- [37] Feng, Q. (2007), On Determining Specifications and Selections of Alternative Technologies for Airport Checked-Baggage Security Screening: Risk Analysis, Vol. 27, No.5.
- [38] Wijnen, R.A.A., Walker, W.E., Kwakkel, J.H. (2008), Decision Support for Airport Strategic Planning, Transportation Planning and Technology, Vol. 31, No. 1, 11-34.
- [39] Earle, N., Keen, P. (2000), From.Com to.Profit: Inventing Business Models that Deliver Value and Profit, Jossey-Bass, San Francisco, CA.
- [40] Shim, J.P., Warkentin, M., Courtney, J.F., Power, D.J., Sharda, R., Carlsson, C. (2002), Past, present and future of decision support technology, Decision Support Systems, 33, 111-126.
- [41] Courtney, J.F. (2001), Decision making and knowledge management in inquiring organizations: toward a new decision-making paradigm for DSS, Decision Support Systems, 31/1, 17– 38.
- [42] Arnott, D., Pervan, G. (2008), Eight key issues for decision support systems discipline, Decision Support Systems, 44, 657-[71]2.
- [43] Matheson, J. E., Howard, R. A. (1977), An Introduction to Decision Analysis. In: Howard, R. A., Matheson, J. E., Miller, K. L. (Eds), *Readings in Decision Analysis*, pp. 9-12. Decision Analysis Group, Stanford Research Institute International, USA, 2ª edição.

- [44] A Avaliação do Desenvolvimento Socioeconómico, MANUAL TÉCNICO II: Métodos e Técnicas, Instrumentos de Enquadramento das Conclusões da Avaliação: Análise Multicritério, www.observatorio.pt/download.php?id=224.
- [45] Seo, F., Sakawa, M. (1988). Multiple Criteria Decision Analysis in Regional Planning: Concepts, Methods and Applications. Theory and decision library, Series B: Mathematical and Statistical Methods, pp. 1-11. D. Reidel publishing company, Holanda.
- [46] Roy, B. (1990), Decision-Aid and Decision-Making. In: Bana e Costa, C. A. (Ed.). *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 20 - 21. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [47] Georgiadis, D. R., Mazzuchi, T. A., Sarkani, S. (2012), Using Multi Criteria Decision Making in Analysis of Alternatives for Selection of Enabling Technology, Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), DOI 10.1002/sys.21233.
- [48] Roy, B. (1985), Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision, Economica, Paris.
- [49] Bonysson, D. (1990), Building Criteria: A prerequisite for MCDA. In: Bana e Costa, C. A. (Ed.). *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 58 - 62. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [50] Borchering, K., Weber, M. (1993), Behavioral influences on weight judgments in multi-attribute decision making, European Journal of Operation Research, no 67[2], 1–12, p.2.
- [51] Zimmermann, H.J. (1990), Decision Making in ill-structured environments and with multiple criteria. In: Bana e Costa, C. A. (Ed.). *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pp. 121 - 122. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [52] Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B. (2005), ELECTRE Methods. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp. 133-162. Springer, USA.
- [53] Roy, B. (1991), The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, Theory and Decision, 31: 49-73.
- [54] Brans, J. P. (1982), L'ingenierie de la decision: l'elaboration d'instruments d'aide a la decision, Colloq. d'aide a la decision, Universite Laval, Quebec, Canada.
- [55] Brans, J. P., Mareschal, B. (2005), PROMETHEE Methods. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp. 163-195. Springer, USA.
- [56] Martel, J. M., Matarazzo, B. (2005), Other Outranking Approaches. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp.197-262. Springer, USA.
- [57] Dyer, J. S. (2005), MAUT – Multiattribute Utility Theory. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp. 265-295. Springer, USA.

- [58] Siskos, Y., Grigoroudis, E., Matsatsinis, N., F. (2005), UTA Methods. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp. 297-343. Springer, USA.
- [59] Montealegre, R., Keil, M. (2000), De-Escalating Information Technology Projects: Lessons from the Denver International Airport, *MIS Quarterly*, Vol. 24, No. 3.
- [60] Saaty, T. L. (2005), The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp.345-407.
- [61] Ghodsypour, S.H., O'Brien, C. (1998), A decision support system for supplier selection using integrated analytic hierarchy process and linear programming, *Int. J. Production Economics*, 56-57, 199-212.
- [62] Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., Vansnick, J. C. (2005), On the mathematical foundations of MACBETH. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., (Ed.). *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*, pp. 409-442. Springer, USA.
- [63] Karande, P., Chakraborty, S. (2013), Using MACBETH method for supplier selection in manufacturing environment, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, No. 4, 259 – 272.
- [64] Bana e Costa, C. A., Chagas, M.P. (2004). A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *European Journal of Operational Research*, No. 153 [3], pp. 323-331.
- [65] Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., Vansnick, J. C. (2003). MACBETH, Working paper LSEOR 03.56. London School of Economics, London.
- [66] Velasquez, M., Hester, P. T. (2013), An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, Vol. 10, No. 2, pp. 56-66.
- [67] Brikké, F., Bredero, M. (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation, World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre.
- [68] Lewis, G.A., Wrage, L., A Process for Context-Based Technology Evaluation, Integration of Software-Intensive Systems (ISIS) Initiative, CMU/SEI-2005-TN-025.
- [69] Google Maps, [https://www.google.pt/maps/place/Aeroporto+de+Lisboa+\(LIS\)](https://www.google.pt/maps/place/Aeroporto+de+Lisboa+(LIS)), consultado em Maio de 2014.
- [70] ANA Aeroportos de Portugal SA, <http://routelab.ana.pt/en-US/Airports/Lisbon/Pages/default.aspx>, consultado em Maio de 2014.

[71] Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., Vansnick, J. C. (2005), M-MACBETH Versão 1.1 Guia do Utilizador, <http://www.m-macbeth.com/help/pdf/M-MACBETH%20Guia%20do%20utilizador.pdf>, consultado em Setembro de 2014.

ANEXO 1 – Descrição de medidas operacionais em cada passo [4]

O/S	Operational measure	Description
AO-0103	CTE-N11 New lighting technology	The use of aeronautical ground lighting (AGL) include visual aids to flight crew (e.g., approach lighting, glideslope indication, delineating the runway surface, showing taxiway centre-lines and edges), surface movement control (e.g. the use of red stop bars, the indication of authorised surface routes), alerts (e.g. entering the runway) and manoeuvring aids in the apron area. Light emitting diodes (LEDs) are more energy efficient than currently lighting, which is largely provided by incandescent lamps of varying light output, colour and beam spread characteristics. LEDs have approximately ten to one hundred times the life span of incandescent lamps, are more tolerant of vibration (i.e. in the touch down area) and can generate a greater diversity of colours of specific hues.
	PRO-062b Airport Operational Procedures implementing Best Practices for Prevention of Runway Incursions	Airport Operational Procedures-runway incursions
	PRO-AC-52 Cockpit Procedures to ensure compliance with ATC ground movement instructions and runway incursions alerts	Cockpit Procedures-runway incursions
AO-0201	A/C-48a Automatic Dependent Surveillance Broadcast 1090 Extended Squitter transmission capability (ADS-B OUT) based on EUROCAE ED 102A/ RTCA DO 260B	This system enabler will ensure the implementation of ADS-B OUT (Automatic Dependent Surveillance ? Broadcast where OUT refers to the transmission domain only) through which an aircraft can automatically transmit data such as identification, position and additional data, as appropriate, in a broadcast mode, via the 1090 MHz Extended Squitter datalink, based on the EUROCAE ED 102A/ RTCA DO 260B standard (which supports all ADS-B Out and initial ADS-B In applications).
	AERODROME-ATC-04 Surface movement control workstation enhanced to use and display flight plan data	
	AERODROME-ATC-28 Surface movement control workstation equipped with initial tools for Aerodrome Control Service	Initial phase of Controller support tools for airport operations. These are essentially the first generation of tools, which may not be highly integrated. However, they should provide automated support for capture and display of flight and meteorological data.
	AERODROME-ATC-36 Airport surveillance data processing and distribution upgraded to store and forward flight plan data	
	CTE-S1b ADS-B Ground receiving station for RAD and APT applications:	Ground stations for ADS-B operations in radar airspace (ADS-B RAD) and on the Airport Surface (ADS-B APT) will have to be compliant with the relevant EUROCAE standard (ED-129A).
	CTE-S4a Independent Non-cooperative Surveillance (PSR)	PSR is retained to support the safety case for TMA services and some en-route environments.
	CTE-S5 Independent Cooperative Surveillance sensors (SSR, WAM)	Independent cooperative Surveillance systems: SSR mode A/C, SSR mode S, or the newer form of Wide Area Multi-lateration.
	CTE-S5a Wide Area Multilateration System	
	CTE-S9a Airport Surface Surveillance through SMR	Surface Movement Radar (SMR) for provision of surveillance coverage of all targets on the Airport surface.
	CTE-S9b Airport Surface Surveillance through MLAT	'Cooperative surveillance is provided by Airport Multilateration (MLAT) and ADS-B Out, based on the choice of the airport operator.
	CTE-S12b CWP & ground processing systems for ADS-B in radar airspace (ADS-B RAD) and on the airport surface (ADS-B APT)	The Ground ATC system in a Radar Airspace or for Airport Surface will have to be enhanced in order to process ADS-B data and provide the relevant traffic situation picture.
	PRO-201 Procedures linked to Improvement of Guidance and Control on the Manoeuvring Area on and around the Runway	Low visibility and A-SMGCS Level 1 procedures included in SUPPs, A-SMGCS Manual (Doc 9830) published

AO-0204	A/C-63 Fit Low Power SSR Transponder to Small Aircraft	Fit Low Powered SSR Mode S Transponders (LPST) to all small aircraft (only those not already normal transponder equipped) operating within identified TMA.
	AIRPORT-30 Airport wireless communications infrastructure for mobile data	Wireless communications infrastructure to handle the data traffic between mobile and fixed elements of Aircraft Operators, Airport Operators, ATC and other services (e.g. handlers, met, fire and rescue). May use 802.12 WIMAX.
	CTE-N10 Moving Map actual data for airport	Moving map. Actual map data (EAD) to be used in moving map display in the cockpit.
	HUM-AO-0204 Initial Training, competence and/or adaptation of new/active operational staff for the use of the enhancement of the OI Step Airport Vehicle Driver's Traffic Situational Awareness	The planning for the training set-up, and the training itself includes training needs identification for affected actors with regard to the new procedures and new tool; Training refers to the development of the skills, knowledge, understanding & attitude behaviour patterns required by an individual in order to adequately perform their role & tasks ; potential negative effects of training during the transition are identified; potential interference between existing and new knowledge & skills are identified; potential negative effects of the training on operational task desempenho are identified; desempenho and competence levels in order to perform a defined task safely and efficiently are identified;provisions are made for emergency trainings ; the training covers normal operational conditions/ abnormal operational conditions and conditions in degraded mode
	PRO-065b Airport Operational Procedures for using vehicles equipped with cockpit display traffic information	Airport Operational-Vehicles drivers movement instructions
	PRO-201 Procedures linked to Improvement of Guidance and Control on the Manoeuvring Area on and around the Runway	Low visibility and A-SMGCS Level 1 procedures included in SUPPs, A-SMGCS Manual (Doc 9830) published
AUO-0401	A/C-24 Airport moving map and own aircraft position display in cockpit.	Airport moving map and own aircraft position display in cockpit.
	A/C-25 Airborne Traffic Situational Awareness to support surface operations (ATSA-SURF), including reception (ADS-B in), processing and display	This enabler ensures that the airborne traffic situational awareness surface operations (ATSA SURF) is achieved through the addition of standard compliant flight deck systems (Traffic Computer and Display)
	A/C-48a Automatic Dependent Surveillance Broadcast 1090 Extended Squitter transmission capability (ADS-B OUT) based on EUROCAE ED 102A/ RTCA DO 260B	This system enabler will ensure the implementation of ADS-B OUT (Automatic Dependent Surveillance ? Broadcast where OUT refers to the transmission domain only) through which an aircraft can automatically transmit data such as identification, position and additional data, as appropriate, in a broadcast mode, via the 1090 MHz Extended Squitter datalink, based on the EUROCAE ED 102A/ RTCA DO 260B standard (which supports all ADS-B Out and initial ADS-B In applications).
	ADSB-0007 ED-165: Safety Desempenho and Interoperability Requirements for ATSAW on the airport surface (ATSAW SURF)	Application standard for ATSAW SURF
	ADSB-0102 ED 102/DO 260: MOPS for 1090 MHz ADS-B	Standard published. First Standard for 1090 MHz Extended Squitter. ED102a replaces ED-102 for ADS-B OUT and ADS-B IN applications.
	ADSB-0102a ED102a ADS-B 1090 MHz Extended Squitter	Published : ADS-B applications NRA, RAD, ITP, SUR, S&M is supported
	ASAS-0402 MOPS for Aircraft Surveillance Application (ASA) - ED-194/DO-317A	EUROCAE WG51/SG-3 and RTCA/SC-186
	PRO-AC-25 Cockpit Procedure to use Airborne Traffic Situational Awareness at the Surface (ATSA-SURF) in all weather conditions	Cockpit Procedures should be updated to reflect modifications associated with the implementation of ATSA-SURF functionality. The ATSA-SURF application does not change the responsibilities of either pilots or controllers. The flight crew continues to be responsible for the operation of the aircraft and compliance with its clearance, and the controller continues to be responsible for ensuring safe surface operations through appropriate issuance of clearances throughout the ATSA-SURF application. The Traffic Display and associated information presented to the flight crew are supplemental to the ATC services they receive and provide a potential safety net should either ATC or flight crew errors occur.

ANEXO 2 – Bases matemáticas do software M-MACBETH

Considere-se a seguinte notação [62]:

- J é um avaliador (individual ou grupo);
- X (com $\#X = n \geq 2$) é um conjunto finito de elementos (alternativas, opções);
- $\Delta_{att}(x,y)$ é a “diferença de atratividade entre x e y para J ”;
- $\Delta_{att}(x,y) > \Delta_{att}(z,w)$ significa que $\Delta_{att}(x,y)$ é maior que $\Delta_{att}(z,w)$;
- \emptyset é um conjunto vazio;
- \mathbb{R} é o conjunto de números reais;
- $\mathbb{R}_+ = \{x \in \mathbb{R} | x \geq 0\}$;
- $\mathbb{R}^* = \mathbb{R} \setminus \{0\}$;
- $\mathbb{R}_+^* = \mathbb{R}_+ \setminus \{0\}$;
- \mathbb{Z} é o conjunto de números inteiros;
- \mathbb{N} é o conjunto dos números inteiros, não negativos;
- $\mathbb{N}^* = \mathbb{N} \setminus \{0\}$;
- $\mathbb{N}_{s,t} = \{s, s+1, \dots, t\} = \{x \in \mathbb{N} | s \leq x \leq t\}$ com $s, t \in \mathbb{N}$ e $s < t$

Considere-se um conjunto de elementos, X , que um indivíduo ou grupo, J , deseja comparar, em termos de atratividade relativa (desejo ou valor).

Considerando **escalas de valor ordinais**, é possível obter representações quantitativas de preferência que refletem numericamente, a ordem de atratividade dos elementos de X por J . Este processo é bastante simples se J for capaz de fazer um *ranking* de elementos de X por ordem de atratividade, tanto diretamente como por *pairwise comparison* entre os elementos. Neste caso, é atribuído um valor real $v(x)$ a cada elemento de X , de modo a que os elementos sejam igualmente atrativos ($v(x)=v(y)$) ou o elemento x seja mais atrativo que y ($v(x)>v(y)$) [62].

Considerando **escalas de diferença de valor (intervalo)**, cada escala de valor é única para um determinado critério. Este tipo de escala reflete a ordem de atratividade dos elementos de X por J e a diferença das atratividades relativas entre os elementos de X (força de preferência de J por um elemento sobre outro) [62]. No entanto, a construção de escalas de valor em intervalo é difícil, pois exige que J produza representações numéricas da força das suas preferências [62], o que não é uma tarefa natural para os decisores.

O MACBETH surgiu então no sentido de evitar forçar os decisores a produzir representações numéricas das suas preferências [64], respondendo à questão “*Como pode uma escala de valor ser construída em X , de um modo quantitativo e qualitativo, sem forçar D a produzir representações numéricas diretas de preferências, e envolvendo dois elementos de X , em cada juízo de D ?*” [62].

Assim sendo, o software M-MACBETH foi desenvolvido tendo em conta as seguintes bases matemáticas [62]:

➤ Tipos de informação preferencial

Informação do Tipo 1: informação preferencial obtida por J , através do primeiro questionário. Considerando x e y , elementos diferentes de X , o seguinte questionário é efetuado para diferentes pares de X :

*“Q1: É algum dos dois elementos mais atrativo que o outro?
R1: J responde “yes”, “no” ou “I don’t know”. Se J responde “yes”, é perguntado:
Q2: Qual dos dois elementos é mais atrativo?”*

As respostas podem formar três relações binárias:

$$P = \{ (x, y) \in \{X \times X : x \text{ mais atrativo que } y\}$$

$$I = \{ (x, y) \in \{X \times X : x \text{ é igual a } y\}$$

$$? = \{ (x, y) \in \{X \times X : x \text{ e } y \text{ não são comparáveis em termos de atratividade}\}$$

Informação do Tipo 1 + 2

Supondo que a informação tipo 1 sobre X está disponível, inicia-se o segundo questionário no software M-MACBETH:

*“Q3: Como avalia a diferença de atratividade entre x e y ?
R3: J responde na forma d_s , com $d_1 \dots d_Q$, $Q \in \mathbb{N} \setminus \{0,1\}$ que são categorias semânticas de diferença de atratividade”.*

No MACBETH, $Q=6$, sendo $d_1=very\ weak$, $d_2=weak$, $d_3=moderate$, $d_4=strong$, $d_5=very\ strong$, $d_6=extreme$. A resposta R3 cria as relações C_{st} ($s, t \in \mathbb{N}, 1 \leq s \leq t \leq Q$), onde:

$$C_{st} = \{(x, y) \in P \mid \Delta att(x, y) \text{ é "d}_s \text{ a d}_t"\}.$$

A informação tipo 1+2 sobre X é uma estrutura $\{P, I, ?, P^e\}$, onde $\{P, I, ?\}$ é informação tipo 1 sobre X e P^e é uma relação assimétrica de P , com o seguinte significado: " $(x, y)P^e(z, w)$ quando $\Delta att(x, y) > \Delta att(w, z)$ ".

➤ Representação numérica da informação preferencial

Escala do Tipo 1:

Uma escala tipo 1 em X relativa a $\{P, I\}$ é uma função $\mu : X \rightarrow \mathbb{R}$ que satisfaz a condição 1.

$$\text{Condição 1: } \forall x, y \in X, [xPy \Rightarrow \mu(x) > \mu(y)] \text{ e } [xIy \Rightarrow \mu(x) = \mu(y)]$$

$$S_{c1}(X, P, I) = \{\mu : X \rightarrow \mathbb{R} \mid \mu \text{ é uma escala Tipo 1 de } X, \text{ relativa a } \{P, I\}\}$$

Quando $? = \emptyset$ e $S_{c1}(X, P, I) \neq \emptyset$, cada elemento de S_{c1} é uma escala ordinal em X .

Escala do Tipo 1 + 2

Uma escala tipo 1+2 em X relativa a $\{P, I, ?, P^e\}$ é uma função $\mu : X \rightarrow \mathbb{R}$ que satisfaz as condições 1 e 2.

Condição 2: $\forall x, y, z, w \in X, [(x, y)P^e(z, w) \Rightarrow \mu(x) - \mu(y) > \mu(z) - \mu(w)]$

$S_{c1+2}(X, P, I, P^e) = \{\mu : X \rightarrow \mathbb{R} \mid \mu \text{ é uma escala Tipo 1 + 2 de } X, \text{ relativa a } \{P, I, P^e\}\}$

➤ **Consistência e inconsistência**

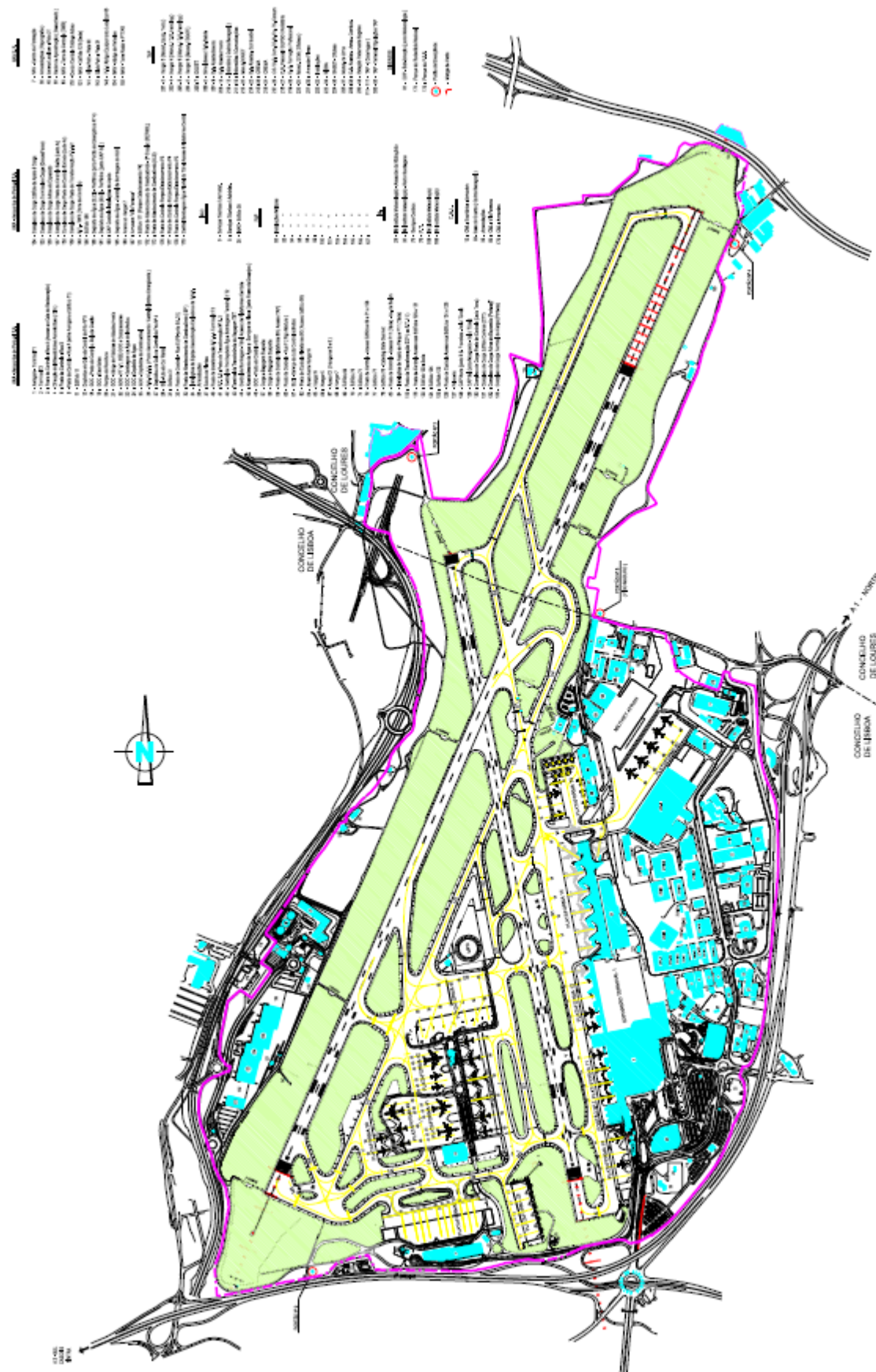
A informação Tipo 1 $\{P, I, ?\}$ sobre X é:

- Consistente se $S_{c1} \neq \emptyset$;
- Inconsistente se $S_{c1} = \emptyset$

A informação Tipo 1+2 $\{P, I, ?, P^e\}$ sobre X é:

- Consistente se $S_{c1+2} \neq \emptyset$.
- Inconsistente se $S_{c1+2} = \emptyset$. Neste caso, pode ter-se:
 - i. $S_{c1} = \emptyset$, e no M-MACBETH aparece a mensagem “*no ranking*”, ocorrendo quando J declara $[xIy, yIz \text{ e } xPz]$ ou $[xPy, yPz \text{ e } zPx]$;
 - ii. $S_{c1} \neq \emptyset$, e no M-MACBETH aparece a mensagem “*inconsistent judgement*”.

ANEXO 3 – Planta do Aeroporto de Lisboa



- Legenda**
- 1. Área de estacionamento
- 2. Área de estacionamento para autocarros
- 3. Área de estacionamento para autocarros
- 4. Área de estacionamento para autocarros
- 5. Área de estacionamento para autocarros
- 6. Área de estacionamento para autocarros
- 7. Área de estacionamento para autocarros
- 8. Área de estacionamento para autocarros
- 9. Área de estacionamento para autocarros
- 10. Área de estacionamento para autocarros
- 11. Área de estacionamento para autocarros
- 12. Área de estacionamento para autocarros
- 13. Área de estacionamento para autocarros
- 14. Área de estacionamento para autocarros
- 15. Área de estacionamento para autocarros
- 16. Área de estacionamento para autocarros
- 17. Área de estacionamento para autocarros
- 18. Área de estacionamento para autocarros
- 19. Área de estacionamento para autocarros
- 20. Área de estacionamento para autocarros
- 21. Área de estacionamento para autocarros
- 22. Área de estacionamento para autocarros
- 23. Área de estacionamento para autocarros
- 24. Área de estacionamento para autocarros
- 25. Área de estacionamento para autocarros
- 26. Área de estacionamento para autocarros
- 27. Área de estacionamento para autocarros
- 28. Área de estacionamento para autocarros
- 29. Área de estacionamento para autocarros
- 30. Área de estacionamento para autocarros
- 31. Área de estacionamento para autocarros
- 32. Área de estacionamento para autocarros
- 33. Área de estacionamento para autocarros
- 34. Área de estacionamento para autocarros
- 35. Área de estacionamento para autocarros
- 36. Área de estacionamento para autocarros
- 37. Área de estacionamento para autocarros
- 38. Área de estacionamento para autocarros
- 39. Área de estacionamento para autocarros
- 40. Área de estacionamento para autocarros
- 41. Área de estacionamento para autocarros
- 42. Área de estacionamento para autocarros
- 43. Área de estacionamento para autocarros
- 44. Área de estacionamento para autocarros
- 45. Área de estacionamento para autocarros
- 46. Área de estacionamento para autocarros
- 47. Área de estacionamento para autocarros
- 48. Área de estacionamento para autocarros
- 49. Área de estacionamento para autocarros
- 50. Área de estacionamento para autocarros
- 51. Área de estacionamento para autocarros
- 52. Área de estacionamento para autocarros
- 53. Área de estacionamento para autocarros
- 54. Área de estacionamento para autocarros
- 55. Área de estacionamento para autocarros
- 56. Área de estacionamento para autocarros
- 57. Área de estacionamento para autocarros
- 58. Área de estacionamento para autocarros
- 59. Área de estacionamento para autocarros
- 60. Área de estacionamento para autocarros
- 61. Área de estacionamento para autocarros
- 62. Área de estacionamento para autocarros
- 63. Área de estacionamento para autocarros
- 64. Área de estacionamento para autocarros
- 65. Área de estacionamento para autocarros
- 66. Área de estacionamento para autocarros
- 67. Área de estacionamento para autocarros
- 68. Área de estacionamento para autocarros
- 69. Área de estacionamento para autocarros
- 70. Área de estacionamento para autocarros
- 71. Área de estacionamento para autocarros
- 72. Área de estacionamento para autocarros
- 73. Área de estacionamento para autocarros
- 74. Área de estacionamento para autocarros
- 75. Área de estacionamento para autocarros
- 76. Área de estacionamento para autocarros
- 77. Área de estacionamento para autocarros
- 78. Área de estacionamento para autocarros
- 79. Área de estacionamento para autocarros
- 80. Área de estacionamento para autocarros
- 81. Área de estacionamento para autocarros
- 82. Área de estacionamento para autocarros
- 83. Área de estacionamento para autocarros
- 84. Área de estacionamento para autocarros
- 85. Área de estacionamento para autocarros
- 86. Área de estacionamento para autocarros
- 87. Área de estacionamento para autocarros
- 88. Área de estacionamento para autocarros
- 89. Área de estacionamento para autocarros
- 90. Área de estacionamento para autocarros
- 91. Área de estacionamento para autocarros
- 92. Área de estacionamento para autocarros
- 93. Área de estacionamento para autocarros
- 94. Área de estacionamento para autocarros
- 95. Área de estacionamento para autocarros
- 96. Área de estacionamento para autocarros
- 97. Área de estacionamento para autocarros
- 98. Área de estacionamento para autocarros
- 99. Área de estacionamento para autocarros
- 100. Área de estacionamento para autocarros

ANZ
 PLANTA GERAL DO AEROPORTO DE LISBOA
 ESCALA 1:10000 DESenhado por ANZ - ALPIST - DELTA PER 2004
 DATA: MAR 2003