INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

A sustentabilidade nas operações de aeródromo e os seus impactos na gestão aeroportuária

João Nuno da Silveira e Castro Carvalheiro

Mestrado em Gestão

Orientador:

Professora Doutora Lúcia de Fátima Silva Piedade, Professora externa

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias – Centro Universitário de Lisboa

outubro, 2025

BUSINESS
SCHOOL

Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

A sustentabilidade das operações de aeródromo e os seus impactos na gestão aeroportuária

João Nuno da Silveira e Castro Carvalheiro

Mestrado em Gestão

Orientador:

Professora Doutora Lúcia de Fátima Silva Piedade, Professora externa

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias – Centro Universitário de Lisboa

outubro, 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais por todo o apoio e amor prestado durante a minha vida. Vocês são a peça fundamental na minha vida e, sem vós, não seria possível ser a pessoa que sou, com todas as forças e capacidades necessárias para ser quem sou, nem para estar onde me encontro. O meu maior obrigado por estarem sempre ao meu lado incondicionalmente e por me ajudarem a ser a melhor versão de mim próprio. Vocês são a minha maior força.

Agradeço especialmente à Professora Doutora Lúcia Piedade, por todo o apoio e profissionalismo prestado durante os últimos 5 anos, principalmente durante a realização da presente dissertação, tendo sido a pessoa que mais me inspirou academicamente. A sua experiência e orientação, nesta área, foi uma peça fulcral para a realização desta investigação.

Agradeço igualmente à minha restante família e amigos próximos, nomeadamente às minhas duas irmãs, por me terem apoiado durante toda a minha vida e terem sido uma fonte de inspiração para a pessoa que hoje sou. Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos, pela sua presença na minha vida, aos de longa data e aos que fui conhecendo ao longo dos anos, por serem o meu refúgio mental durante os períodos de maior necessidade, tendo sido também uma fonte de inspiração e motivação para seguir os meus sonhos e nunca desistir deles, por menos favoráveis que fossem as condições da altura.

A todos vós, um enorme obrigado.

Resumo

A indústria aeronáutica é um motor da sociedade moderna, permitindo a rápida conexão entre povos, através dos aeroportos, tendo sido uma peça fundamental para o desenvolvimento da sociedade atual. Esta indústria, centenária, sofreu diversas evoluções desde os seus primórdios, especializando-se para satisfazer as necessidades específicas das indústrias militar e civil, nunca deixando de se adaptar às necessidades e regulações a ela impostas. Atualmente, a temática da sustentabilidade é uma temática que está presente em diversas áreas, procurando implementar medidas que reduzam os impactos negativos sobre o ambiente, resultantes das operações das empresas, nomeadamente em áreas abrangidas pelo ESG (*Environmental, Social, Governance*).

A presente investigação procura relacionar estes dois temas, focando-se nas operações de aeródromo, que decorrem no interior de um aeroporto, e a sustentabilidade destas, procurando compreender o que estas são e qual o seu impacto ambiental, relacionando com as regulações, a elas impostas, permitindo compreender que estratégias estão a ser implementadas pelos aeroportos para reduzir o impacto negativo destas operações.

Para tal, foi realizado um caso de estudo múltiplo, com três aeroportos (Aeroporto de Heathrow, Aeroporto de Schiphol e o Aeroporto Humberto Delgado), analisando os três com base em cinco dimensões e comparando-os posteriormente. Com este estudo, foi possível compreender que as metas impostas aos aeroportos possuem o objetivo de neutralizar as emissões de carbono destes, estando as estratégias impostas pelos aeroportos analisados a ter efeitos positivos na redução destas emissões.

Palavras-chave: Operações de Aeródromo; Sustentabilidade; *Airport Carbon Accreditation*; *Ground Support Equipment*; Eletrificação

JEL *Classification System*: L93 – *Air Transportation*; Q56 – *Environment and Development*

Abstract

The aeronautical industry is a driving force of modern society, enabling rapid connections between people, through airports, and has been a fundamental part of the development of today's society. This centenary industry has undergone several evolutions since its inception, specializing itself to meet the needs of the military and civilian industries, while always adapting to the demands and regulations imposed upon it. Nowadays, the matter of sustainability is addressed in several sectors, with them seeking the implementation of measures that reduce the negative impacts, to the environment, arising from the day-to-day company operations, particularly in areas covered by ESG (Environmental, Social, Governance).

This research seeks to connect these two themes, focusing on aerodrome operations, which occur within an airport, and their sustainability. It seeks to understand what these operations are and their environmental impact, relating them to the regulations imposed on them, as well as understanding what strategies airports are implementing to reduce the negative impact of these operations.

To this end, a multiple case study was conducted with three airports (Heathrow Airport, Schiphol Airport, Humberto Delgado Airport), analysing each based on five dimensions and subsequently comparing them. This study revealed that the targets imposed on airports aim to neutralize their carbon emissions to the environment, and that the strategies implemented by the analysed airports are having positive effects on reducing these emissions.

Keywords: Aerodrome Operations; Sustainability; Airport Carbon Accreditation; Ground Support Equipment; Electrification

JEL Classification System: L93 – Air Transportation; Q56 – Environment and Development

Índice geral

Resumo v

Abstract vii

Glossário de siglas xii

1. Introdução 1

1.1. Questões de investigação 3

1.2. Objetivos da investigação 3

2. Revisão de literatura 5

2.1. O aeroporto 5

2.1.1. Infraestrutura aeroportuária 5

2.1.2. Operações aeroportuárias 9

2.1.3. Operações de aeródromo 9

2.2. Sustentabilidade 12

2.2.1. Sustentabilidade na indústria aeronáutica 14

2.2.2. Acreditação ACA 16

2.2.3. Sustentabilidade nas operações de aeródromo 19

3. Metodologia 23

4. Análise de resultados - Caso de estudo múltiplo 27

4.1. Aeroporto de Heathrow - Londres (LHR) 27

4.2. Aeroporto de Schiphol – Amsterdão (AMS) 29

4.3. Aeroporto Humberto Delgado - Lisboa (LIS) 31

4.4. Dimensão 5 - Análise emissões de *scope* 1, 2 e 3 34

5. Conclusão 37

5.1. Limitações 40

5.2. Recomendações para futuras investigações 40

6. Referências bibliográficas 42

Índice de Quadros

Quadro 1 - Tabela comparativa das emissões *scope* 1, 2 e 3 entre os aeroportos LHR, AMS (e RSG) e LIS, no período 2019-2024……...……34

Glossário de siglas

GSE = *Ground Support Equipment*

IATA = *International Air Transport Association*

ICAO = *International Civil Aviation Organization*

EASA = *European Union Aviation Safety Agency*

UE = União Europeia

AHD = Aeroporto Humberto Delgado

LCC = *Low-cost Airline*

RET = *Rapid Exit Taxiway*

MPA = *Multipurpose apron*

APU = *Auxiliary Power Unit*

GPU = *Ground Power Unit*

FEGP = *Fixed Electrical Ground Power*

TBL = *Triple Bottom Line*

ESG = *Environment, Social, Governance*

UFP = *Ultrafine Particles*

CAST = *Climate and Aviation – Sustainable Trajectories*

SAF = *Sustainable Aviation Fuel*

EU ETS = *European Union Emissions Trading Scheme*

IPCC = *Intergovernmental Panel on Climate Change*

HVO = *Hydrotreated vegetable oil*

ACA = *Airport Carbon Accreditation*

CAA = *Civil Aviation Authority*

eGOANA = *Electrification of Ground Operations* - ANA

AMS = (Código IATA do) Aeroporto de Schiphol

LHR = (Código IATA do) Aeroporto de Heathrow

GHG = *Greenhouse Gas*

RSG = *Royal Schiphol Group*

1. Introdução

A indústria aeronáutica é um pilar essencial da sociedade moderna, tendo esta possuído um papel fundamental na promoção do fenómeno da globalização e na intensificação da conectividade internacional. Foi, e é, permitindo a mobilidade célere, tanto de pessoas como de bens, que esta se tornou num motor da economia global, sendo uma necessidade para o comércio, turismo e cadeias de abastecimento globais (ATAG, 2024). Para além da particularidade do transporte de pessoas e bens, os aeroportos representam um importante peso económico, representando centenas de milhares de postos de trabalho diretos e indiretos, bem como uma contribuição relevante para o produto interno bruto nacional e regional dos países e regiões em que estão localizados e que afetam (Adler et al., 2024).

Desde os seus primórdios, a indústria aeronáutica tem sido palco de sucessivas fases de evolução tecnológica. Isto é, desde o aperfeiçoamento de plataformas estáveis de voo, o desenvolvimento de motores, como os "a jato", a transição da utilização de materiais de construção, da madeira e tecido ao alumínio e, mais recentemente, aos compósitos sintéticos, bem como a digitalização dos sistemas utilizados nas aeronaves. Estes foram marcos que permitiram, não só massificar o uso da aviação para diversos setores e para a população no geral, mas também aprimorar a eficiência e a fiabilidade do setor (Petrescu et al., 2017). Em conjunto com estes avanços, somaram-se também evoluções significativas ao nível da gestão aeroportuária e do equipamento destinado às operações de aeródromo, os *ground support equipment* (GSE), cuja modernização acompanhou as exigências das regulações às operações aéreas e aos aeroportos (Timmermans, 2023).

No entanto, paralelamente à evolução desta indústria, emergiu também uma preocupação social crescente: a sustentabilidade. A necessidade da preservação do meio ambiente, traduzida em medidas de gestão sustentável e em políticas de mitigação dos impactos da atividade humana, tornou-se um foco central para a sociedade (Brundtland, 1987). Esta preocupação obrigou também a aviação a alinhar a sua evolução tecnológica e práticas com os objetivos ambientais cada vez mais restritivos, materializados em estratégias como a neutralidade carbónica até 2050, estabelecidas pela *International Air Transport Association* (IATA) e pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) (IATA, 2023; ICAO, 2022). Para além da pressão social, a ação regulatória proveniente da *European Aviation Safety Agency* (EASA) aos países europeus, que são o foco da presente dissertação, têm-se criado metas de redução de

emissões, que condicionam as estratégias adotadas pelos aeroportos para o planeamento e execução das suas operações (EASA, 2023).

Apesar dos avanços atingidos relativos ao tema da sustentabilidade, o impacto da aviação no aquecimento global permanece, estimando-se que, do impacto humano no aquecimento do planeta, esta indústria tenha sido responsável por cerca de 3,5 a 4% (Klöwer et al., 2021). Este impacto deve-se, em parte, ao facto de que a maior parte da inovação tenha sido direcionada à eficiência energética e redução de custos de operação, não necessariamente focada na substituição estrutural dos combustíveis fósseis (Peeters et al., 2016). São, portanto, os aeroportos de particular relevância, não apenas como *hubs* de transporte, mas também como locais onde as operações aeroportuárias são fontes relevantes de poluição atmosférica. Os veículos e os equipamentos utilizados continuam, em grande parte, a depender de combustíveis fósseis, mesmo já existindo uma crescente seleção de alternativas elétricas (Alruwaili & Cipcigan, 2022; Timmermans, 2023). É por isso que a eletrificação progressiva dos GSE surge como uma estratégia promissora para alinhar a eficiência operacional com as metas ambientais, constituindo-se como o foco de investigação da presente dissertação (Kirca et al., 2020; Rogers, 2011).

Para tal, foram elaborados os seguintes capítulos: Capítulo 1, a Introdução, onde a temática da presente dissertação é apresentada, procurando descrever a pertinência da investigação a ser realizada; Capítulo 2, a Revisão de Literatura, onde os temas pertinentes para contextualizar a investigação são descritos, com base em artigos científicos e documentação oficial relevante, estando dividido entre a descrição do ecossistema aeroportuário, onde se procura descrever as operações de aeródromo, e a descrição da temática da sustentabilidade, relacionando as práticas de gestão da indústria aeronáutica com as operações de aeródromo, tal como a descrição das regulações criadas pela União Europeia (UE), de modo a possuir uma base teórica para a compreensão dos dados do Capítulo 4; Capítulo 3, a Metodologia, onde é realizada a descrição da metodologia a ser utilizada na presente investigação, procurando justificar a razão pela qual a metodologia escolhida é correta e pertinente para a investigação a ser realizada; Capítulo 4, o Caso de Estudo Múltiplo, é onde é aplicada a metodologia, através da análise dos aeroportos de Heathrow, em Londres, de Schiphol, em Amsterdão, e Humberto Delgado, em Lisboa, e consequente discussão dos resultados obtidos; Capítulo 5, a Conclusão, na qual são respondidas as questões de investigação e é apresentada uma conclusão da investigação realizada, suportada na informação recolhida, e descrita, no decorrer da dissertação.

1.1. Questões de investigação

De modo a compreender os impactos ambientais, derivados das operações de aeródromo, tal como da utilização de GSE nos aeroportos, é necessária a análise do ecossistema das operações de aeródromo, do impacto que as regulações possuem nestas operações e, por fim, das estratégias adotadas pelos aeroportos para estarem de acordo com as normas implementadas.

Foram elaboradas as seguintes questões de investigação, que permitem abranger os pontos supramencionados, sendo elas:

i. Quais são as tendências regulatórias das entidades europeias relativamente à temática da sustentabilidade nos aeroportos, nomeadamente nas operações de aeródromo, e quais as respostas dos aeroportos a estas?
ii. Que desafios originam da implementação de estratégias adotadas, face às tendências regulatórias, nomeadamente na adoção de GSE elétricos, por parte de uma empresa que realiza operações de aeródromo?
iii. Como podem ser minimizados os desafios oriundos da implementação de estratégias adotadas, face às tendências regulatórias?

1.2. Objetivos da investigação

Dada a dimensão e particularidade da indústria aeronáutica, com o impacto no crescimento e funcionamento de economias, tal como a movimentação de pessoas e bens que possui, torna-se fulcral a compreensão do ecossistema das operações de aeródromo, das pressões regulatórias às quais estes estão sujeitos e das estratégias implementadas, como resposta, pelos aeroportos. Fornecendo o contexto claro destes pontos de análise, relacionando-os com a temática da sustentabilidade, é possível verificar quais são as tendências nas estratégias implementadas pelos aeroportos europeus, de forma a estarem de acordo com o definido pelas entidades regulatórias às quais estão sujeitos, criando assim padrões nas tendências da gestão aeroportuária. Para tal, foram definidos os seguintes objetivos:

i. Descrever a infraestrutura e as operações aeroportuárias, focando nas operações de aeródromo, criando uma base teórica da mesma, possibilitando a perceção do ecossistema em análise;
ii. Compreender o conceito de sustentabilidade aplicada à gestão, aplicando-o no contexto aeroportuário e das operações de aeródromo, de forma a dar contexto da necessidade social em seguir as mudanças impostas;

iii. Descrever os objetivos das entidades regulatórias europeias, perante a questão da sustentabilidade, e compreender as metas estabelecidas;

iv. Comparar as estratégias implementadas pelos aeroportos, através de um caso de estudo com três aeroportos, perante as regulamentações impostas pelas entidades reguladoras, no âmbito da sustentabilidade das operações de aeródromo, tal como as implicações destas.

2. Revisão de literatura

2.1. O aeroporto

De modo a permitir descrever os componentes que formam um aeroporto, é realizada, neste subcapítulo da revisão de literatura, uma descrição da infraestrutura aeroportuária e das operações aeroportuárias, nas quais estão incluídas as operações de aeródromo. O propósito deste é realizar uma descrição das infraestruturas aeroportuárias e das operações aeroportuárias.

De forma a descrever as diversas infraestruturas, bens e serviços realizados num aeroporto, serão fornecidos exemplos do Aeroporto Humberto Delgado (AHD), localizado na cidade de Lisboa. É excluída qualquer informação referente ao Aeródromo de Trânsito Nº1 - Figo Maduro, área militar situada no interior deste.

2.1.1. Infraestrutura aeroportuária

Aeródromo

Este termo refere-se às instalações cujo propósito é servir o tráfego aéreo, especificamente, a um local, em terra ou no mar, incluindo toda a infraestrutura a si referente, tal como edifícios, instalações e equipamentos, situados no interior do seu perímetro ou nas suas redondezas, cujo propósito está diretamente ligado ao de um aeroporto. Este é utilizado como área de realização das manobras de aterragem, descolagem, movimentação de aeronaves no solo e prestação de serviços às mesmas (ICAO, 2004).

Aeroporto

Segundo Vogel (2019), um aeroporto é um sistema complexo que integra infraestruturas especializadas, bens e serviços destinados a possibilitar a operação de aeronaves e, consequentemente, o transporte aéreo de passageiros e carga. Para além desta função primária, trata-se de um local onde ocorre o processamento de passageiros e carga, no âmbito do tráfego aéreo internacional, sustentado por um conjunto permanente de infraestrutura, equipamentos e serviços. A sua estrutura divide-se em duas áreas distintas: o lado ar, cujo acesso é restrito, reservado e controlado, composto pelas áreas localizadas após o rastreio de pessoas e bens, onde se incluem áreas situadas no interior dos terminais e a toda a área operacional de um aeródromo; lado terra, que é o espaço adjacente ao lado ar, podendo ser de acesso restrito, como as áreas circundantes do aeroporto, correspondendo a áreas no interior dos terminais e edifícios e áreas adjacentes ao perímetro de segurança do aeródromo (ANAC, 2015).

Terminal aeroportuário

Um terminal aeroportuário é uma instalação permanente, destinada ao processamento de pessoas e bens, onde são prestados serviços, relacionados ou não, direta ou indiretamente, com o transporte aéreo. Estando dividido entre o lado ar e lado terra, este serve, não só como ponto de acesso de passageiros e trabalhadores no aeroporto às diversas áreas deste, dependendo da sua função neste, como também para fins comerciais e de conexão com outros meios de transporte. Este dispõe de infraestrutura e sistemas necessários para processar as diversas formalidades relacionadas com a atividade aeroportuária, tal como os procedimentos de embarque, desembarque de passageiros, carga ou correio (ANAC, 2015).

O terminal de passageiros é destinado ao processamento de passageiros e da respetiva bagagem, no terminal de bagagens, área destinada exclusivamente ao processamento de bagagens, cujos proprietários são os passageiros, antes ou após o voo (ANAC, 2015). Já o terminal de carga, cuja função é o processamento da carga aérea, pode criar a necessidade de existir separação física entre este e o terminal de passageiros. Esta separação de terminais pode ter origem em questões operacionais ou logísticas, devido à incapacidade de possuir instalações suficientemente capazes de processar os volumes de carga através do planeamento antecipado da simplificação de operações de um aeroporto (Van Asch et al., 2019).

Já o terminal de passageiros é destinado ao tráfego de passageiros e das suas bagagens, possuindo no seu interior o local de processamento de bagagens, o terminal de bagagens. Estas bagagens, cujo percurso no interior de um aeroporto está diretamente relacionado com a do seu proprietário, criam a necessidade de aproximar fisicamente estas duas áreas. Esta proximidade serve também como método de reduzir o percurso realizado pelas bagagens de passageiros, de e para a aeronave em que o seu proprietário irá viajar, auxiliando na celeridade das operações relacionadas com o transporte de bagagens. É através da otimização do posicionamento das diversas áreas de processamento de bagagens que o processamento de passageiros também pode ser tornado mais célere, reduzindo o percurso que estes realizam no interior de um aeroporto, tanto na sua origem, como no seu destino (Abdullah et al., 2024; Edwards, 1997/2005).

No caso do AHD, este possui dois terminais destinados ao tráfego de passageiros e um edifício destinado ao processamento de carga aérea. Os terminais de passageiros são o terminal 1, de maiores dimensões e mais antigo, onde são realizados os processos de embarque e desembarque de passageiros e das suas bagagens, e o terminal 2, de menor dimensão e de uso exclusivo por companhias aéreas de baixo custo, as *low-cost airlines* (LCC), onde apenas se

realiza o processo de embarque de passageiros e das suas bagagens, existe uma distinção geográfica entre os terminais e a área de processamento de carga aérea (NAV Portugal, 2024).

Pista

Esta é uma extensão retangular, situada no interior de um aeródromo, destinada às aeronaves durante as fases de descolagem e aterragem. Todas as pistas devem possuir uma numeração composta por dois algarismos, sendo o número a adotar em cada pista diretamente relacionado com a orientação do azimute magnético da linha central desta e, posteriormente, este número dividido por 10. Este pode ser um número entre 01 e 36. Esta orientação é medida em sentido horário do norte magnético quando observado durante a fase de aproximação à pista. Aquando da existência de diversas pistas com a mesma orientação, e consequente numeração idêntica, são utilizadas as letras L, R ou C (*left*, *right* e *center*) após a respetiva numeração das mesmas, de forma a possibilitar a distinção das mesmas (ICAO, 2004).

No AHD, existem duas pistas, a pista 02 e a pista 20. De notar que, embora fisicamente apenas exista uma área designada como pista, dependendo da orientação na qual esta seja utilizada pelas aeronaves, a pista utilizada difere. No caso do AHD, devido à alteração natural do azimute magnético do planeta, as antigas pistas 03-21 passaram a ser designadas de 02-20 (ANA Aeroportos de Portugal, 2023).

Taxiways

Área de manobra de aeronaves designada com o propósito de as habilitar a alcançar as diversas áreas do aeródromo destinadas à sua operação (ICAO, 2004). Estas, ao fazerem a conexão entre as diversas áreas operacionais do aeródromo, são uma peça fundamental no esquema do mesmo, permitindo a uma aeronave movimentar-se, em segurança, no interior deste após a fase de aterragem até à plataforma de estacionamento designada e, no sentido contrário, desta plataforma de estacionamento para a pista, onde irá descolar. Estas são também utilizadas para o movimento em terra de aeronaves, através de reboque ou pelos próprios meios, entre as diversas zonas do aeroporto, derivado da necessidade operacional, como é no cenário de uma troca de plataformas de estacionamento, movimentação para zonas remotas do aeródromo ou para áreas destinadas à manutenção (Kazda & Caves, 2000, 2015).

O posicionamento eficiente destas na área de um aeródromo é fundamental para a eficiência operacional e da utilização da área disponível deste. No caso de *taxiways* conectadas à pista, a sua construção em locais estratégicos, com geometrias favoráveis à manobra de aeronaves, permite, a estas, abandonarem a pista num menor espaço de tempo, reduzindo o tempo que nela

permanecem nesta após a fase de aterragem. Estas *taxiways* são conhecidas como *rapid exit taxiways* (RET) e o seu uso permite aumentar a capacidade operacional da pista e, consequentemente, do aeródromo (Khireldin & Law, 2023).

Plataformas e Plataformas de estacionamento

As plataformas são áreas designadas, no interior de um aeródromo, cujo propósito é habilitar a segura realização das operações de aeródromo, tais como: o embarque e desembarque de passageiros ou carga, reabastecimento de aeronaves ou a manutenção das mesmas (ICAO, 2004). Uma plataforma é o local onde estão localizadas as diversas plataformas de estacionamento. A quantidade de plataformas de estacionamento no interior das plataformas difere, dependendo do espaço disponível nestas e variando com a configuração utilizada pela gestão do aeródromo em cada plataforma, no caso das plataformas de estacionamento que se sobrepõem, derivado da necessidade operacional (como é o caso das plataformas de estacionamento da plataforma 40 do AHD). A capacidade de receber aeronaves de diferentes dimensões varia consoante a dimensão das plataformas de estacionamento, sendo estas certificadas de acordo com tal (Hagspihl et al., 2024).

No AHD, à presente data, existem 15 plataformas, sendo que uma destas é o *multipurpose apron* (MPA), que é destinada à realização de atividades não relacionadas com o processo de embarque ou desembarque de passageiros (NAV Portugal, 2024).

Hangares

Hangares são infraestruturas de estacionamento de aeronaves (ICAO, 2004), cobertas, e que são utilizadas para diversos fins, tal como o estacionamento temporário de aeronaves, por motivos operacionais ou de manutenção. Existem no AHD cinco hangares, localizados próximos das plataformas 70 e 80 (NAV Portugal, 2024).

Vias de circulação de veículos

Estas são vias de circulação localizadas no interior de um aeródromo. O seu propósito é idêntico às vias de circulação localizadas no exterior de um aeródromo, no entanto, neste, têm a função de servir como meio de conexão, entre as diversas áreas do aeródromo, para os veículos terrestres que nele operam. Estas permitem a deslocação de pessoas e bens no interior deste, tal como os GSE (Richter, 2025).

2.1.2. Operações aeroportuárias

Num aeroporto, são realizadas operações aeroportuárias, que englobam o conjunto de atividades necessárias ao seu normal funcionamento, tanto no lado ar como no lado terra. Estas incluem processos desenvolvidos no interior do terminal, como o controlo de passageiros e da sua bagagem, carga, a prestação de serviços e os serviços administrativos. Paralelamente, estas também abrangem as operações de aeródromo, diretamente ligadas ao apoio às aeronaves, tais como o embarque e desembarque de passageiros ou carga nas aeronaves, o reabastecimento destas e outros serviços de assistência em escala. As operações aeroportuárias são todas as atividades que ocorrem no interior de um aeroporto, incluindo funções administrativas, comerciais, operacionais e serviços realizados no aeródromo (Vogel, 2019).

2.1.3. Operações de aeródromo

Estas são as operações aeroportuárias que se realizam no interior do aeródromo, das quais são analisadas, na presente dissertação, as relativas às que realizam o apoio em terra às aeronaves durante o seu período de *turnaround*.

Estas iniciam-se após a chegada da aeronave à plataforma de estacionamento designada, permitindo que esteja preparada para um novo voo. Para que tal seja possível, existe um conjunto de serviços que são realizados, incluídos no processo de *handling* de aeronaves. Devido à quantidade e variedade de serviços a serem realizados durante a rotação de uma aeronave, dependendo do aeroporto em questão, há a possibilidade de existirem diversas entidades de *handling* responsáveis pelos diferentes serviços ou de janelas com elevado tráfego operacional e, por isso, tal pode resultar numa elevada procura pelos serviços num determinado momento. Devido a tal, a coordenação e cooperação entre estes serviços, de modo a permitir o funcionamento célere e correto, é fulcral para o funcionamento das operações de aeródromo.

O *handling* de uma aeronave é o conjunto de serviços realizados a uma aeronave, desde o estacionamento da mesma, em segurança, na plataforma de estacionamento, passando pela coordenação de serviços, e terminando com o processo de *pushback*. Este período, onde são realizados os serviços a uma aeronave possui o nome de *turnaround*. Para a realização deste processo, são utilizados veículos especializados para o efeito, sendo a utilização de motores de combustão interna neste recorrente. Processos do handling são:

Receção de aeronaves

Esta é a primeira atividade realizada na receção da aeronave a um aeroporto e o seu propósito consiste em garantir que a aeronave está em condições para que todos os processos seguintes do *turnaround* da aeronave sejam realizados em segurança. Para tal, é realizada a colocação de calços nas rodas da aeronave e cones de sinalização em zonas pré-determinadas ao redor da mesma, variando consoante a sua tipologia. Para tal, é apenas necessária a utilização de veículos de transporte de pessoas, que não requerem qualquer especialização (EASA, 2025).

Desembarque e embarque de passageiros

Processo no qual os passageiros da aeronave que aterra num aeroporto desembarcam desta e, posteriormente, embarcam os passageiros que vão voar a partir desse aeroporto, na aeronave. Este pode ser realizado através de escadas próprias das aeronaves, através de escadas móveis, ou de equipamentos localizados nas plataformas de estacionamento adjacentes ao terminal, as mangas telescópicas, que permitem uma eficaz movimentação de pessoas entre a aeronave e o terminal, evitando o transporte das mesmas, da aeronave até ao terminal ou em sentido oposto. Como tal, o uso de viaturas especializadas, excluindo o caso do uso de escadas próprias da aeronave, é realizado. Estas podem ser rebocadas, podendo possuir um motor a combustão interna ou um elétrico (EASA, 2022).

Transporte de passageiros e carga

Dependendo da localização da plataforma de estacionamento em que a aeronave se encontra estacionada, este processo pode requerer o uso de veículos especializados para o transporte de pessoas, autocarros. Estes veículos, embora especializados, não possuem diferenças significativas, quando comparados com os que são utilizados no exterior do aeródromo, existindo variantes com motores a combustão interna, motores elétricos ou que utilizem outros combustíveis. Já o transporte de carga requer a utilização de procedimentos e normas próprias do transporte de carga e, como tal, são utilizados veículos especializados, tal como veículos destinados ao reboque de unidades rebocáveis, nas quais a carga é posicionada. São também utilizados veículos especializados na movimentação da carga no interior da plataforma de estacionamento, de modo a embarcar e desembarcar carga, das unidades rebocáveis, de e para o interior da aeronave. A utilização de veículos de transporte de carga não está dependente da localização da plataforma de estacionamento da aeronave, mas sim da existência de carga a ser embarcada ou desembarcada. Estes podem ser elevadores ou veículos de reboque, com variantes com motores a combustão interna ou elétricos (EASA, 2022).

Fornecimento de energia elétrica à aeronave

Devido à necessidade de possuir energia elétrica durante o período de rotação, de modo a garantir o funcionamento dos sistemas das aeronaves, estas utilizam o *auxiliary power unit* (APU). No entanto, dependendo das regras aeroportuárias em vigor, que podem limitar o uso deste, pode existir a necessidade de utilizar fontes externas de energia elétrica. Estas são tipicamente geradores de energia elétrica rebocados, os *ground power unit* (GPU), ou fontes de energia elétrica, incorporados na infraestrutura da plataforma de estacionamento onde a aeronave se encontra estacionada, *fixed electrical ground power* (FEGP). Apesar dos GPU poderem ser de ambas as tipologias, com um gerador que utiliza um motor a combustão interna ou com bateria elétrica, a FEGP fornece energia elétrica, à aeronave, diretamente da rede do aeroporto, à aeronave (Martin, 2016).

Limpeza de aeronaves

Serviço realizado para garantir as condições de limpeza desejadas no interior de cada aeronave. Dado que, para tal, é apenas necessária mão de obra humana e material de limpeza, não é necessária a utilização de nenhum veículo especializado para o efeito. São, no entanto, utilizadas viaturas de transporte de pessoal, entre as instalações da entidade responsável pelo serviço de limpeza e a plataforma de estacionamento, onde se encontra a aeronave à qual o serviço será realizado (Yeung et al., 2005).

Serviço de água potável e despejos

Serviço de remoção e inserção de líquidos, não relacionados com o funcionamento dos sistemas relacionados com a operação da aeronave, como combustíveis e lubrificantes, de e para a aeronave. Este consiste na drenagem do conteúdo, com origem no uso dos lavabos durante o voo, para viaturas especializadas para o efeito e da inserção de água potável, nas aeronaves, também com recurso a viaturas especializadas para o efeito (Chen et al., 2023).

Abastecimento

Processo necessário para o funcionamento das aeronaves, que consiste na inserção de combustível no interior da aeronave. Esta possui procedimentos e normas de segurança especializadas, sendo utilizados veículos especializados. Estes, podendo ser de duas tipologias, dependendo se possuem ou não um tanque com combustível, tipicamente possuindo um motor de combustão interna, devido à utilização de materiais inflamáveis e das normas aeronáuticas referentes a este tipo de operação (Quilty et al., 2015).

Manutenção

A manutenção de aeronaves é o serviço de apoio mecânico às aeronaves, realizado quando necessário ou derivado da programação prévia da mesma. Esta pode derivar de falhas que ocorram durante o processo voo ou devido a prévio planeamento das mesmas, variando consoante a tipologia de aeronave e as horas de voo ocorridas desde a última intervenção. Esta pode ser realizada, tanto na plataforma de estacionamento onde a aeronave se encontra estacionada, denominada de manutenção "em linha", ou no interior de um hangar, devido ao tempo que este processo requer, como é o caso das manutenções previamente programadas, podendo estas ser de longa duração (Sieb et al., 2023).

Pushback

Último processo realizado durante o processo de *handling* de uma aeronave. Consiste no reboque da aeronave, da plataforma de estacionamento para uma *taxiway*, de modo a permitir à aeronave movimentar-se pelos próprios meios, requerendo, para tal, a utilização de um veículo especializado para o efeito, um reboque de aeronaves. Este é um veículo especializado que pode ser de diversas tipologias, dependendo da dimensão da aeronave que necessita de reboque. Atualmente existem variantes com motores a combustão interna e variantes com motores elétricos, possuindo os modelos projetados para servir aeronaves de maiores dimensões, motores a combustão interna, devido à necessidade operacional destes (Baxter et al., 2015),

2.2. Sustentabilidade

Devido às novas tendências e consciências sociais em relação ao uso de recursos, a questão da sustentabilidade torna-se um foco de elevada importância aquando da tomada de decisões por parte das entidades gestoras de uma empresa. O conceito do *triple bottom line* (TBL) explora esta ideia, focando-se em três pilares centrais: o económico, o social e o ambiental. Este, procurando garantir que o equilíbrio entre estes, permite que as decisões tomadas por uma empresa resultem em ações sem resultados prejudiciais no âmbito da sustentabilidade, evitando impactos negativos a longo prazo (Elkington, 1997).

Este foco na sustentabilidade que a gestão assume está presente em todos os setores de atividade, desde o setor primário, como a indústria agrícola, setor secundário, como a construção civil, à prestação de serviços e transportes, como é o caso da indústria aeronáutica, com forte impacto económico e ambiental, como é possível compreender, através da revisão de literatura referente a indústrias, primárias e secundárias.

Analisando o setor da construção civil na UE, Diaz Gonçalves & Saporiti Machado (2023) definem o conceito de sustentabilidade como um atributo de um sistema económico ideal, no qual o seu desenvolvimento deriva do equilíbrio entre a consideração de fatores: puramente económicos, de preservação ambiental e de igualdade social. Isto é, para que a sustentabilidade seja alcançada, o foco das empresas deve estar, não só no seu crescimento generalizado, mas também tendo em conta o seu impacto ambiental e social, procurando responder às necessidades de uma empresa e na sua sobrevivência no mercado, como também procurando minimizar o impacto ambiental. O autor refere temas como o *greenwashing*, o comodismo e a seleção arbitrária como desafios à sustentabilidade, criando-se um ciclo de ineficiência.

Através do comodismo, origina-se a seleção arbitrária de processos por parte de quem gere uma empresa, quer seja esta devido a uma possível complexidade desta atividade ou até mesmo derivado dos custos de implementação de medidas (Bansal & Roth, 2000). Estando estas duas situações presentes na gestão de uma empresa, a possibilidade da passagem para o *greenwashing*, um termo relativo a comportamentos que visam a deceção de um público-alvo, em relação aos propósitos de uma empresa, face às medidas ambientais de uma empresa (Roszkowska-Menkes, 2021; Delmas & Burbano, 2011).

Procurando compreender a mudança de abordagens ao longo do tempo, utilizando a indústria agrícola na República Popular da China como exemplo, Shi et al. (2019) compreende que a descrição e compreensão do conceito desta é necessário por parte de uma empresa, devendo esta ser entendida como uma medida destinada à gestão de recursos e preservação dos mesmos, mas também como um dever para com as gerações posteriores, sendo uma obrigação moral e um dever para garantir que as gerações posteriores têm a capacidade de usufruir dos mesmos recursos que as gerações atuais possuem. Esta mudança de mentalidade demonstra uma evolução na mentalidade da gestão das empresas relativamente à sustentabilidade, explorada por Carroll (1991) com a análise da ética empresarial.

Esta origina na mudança de visão do conceito da utilização de recursos, que evoluiu da utilização dos mesmos com base nas necessidades atuais, isento de uma visão do seu impacto a longo prazo, para incorporar conceitos como o ESG (*Environmental, Social* & *Governance*) na tomada de decisões das empresas, criando, às empresas, a possibilidade de estas terem em conta o seu impacto nos três pilares da sustentabilidade (Au et al., 2023).

A integração dos conceitos do ESG e do TBL nas tomadas de decisão de uma empresa traduz-se, assim, na mudança de visão da sustentabilidade, como um foco secundário, ou

puramente de marketing, para um princípio fulcral da gestão de uma empresa (Kluza et al., 2021). Esta abordagem é particularmente relevante em setores de elevado impacto ambiental, como a aeronáutica, onde a intensiva utilização de recursos e os efeitos ambientais diretamente relacionados com uma responsabilidade social e económica, apresentando-se como uma vantagem a nível operacional e, em alguns casos, económicos (Yildiz et al. 2024).

2.2.1. Sustentabilidade na indústria aeronáutica

A sustentabilidade na aviação possui um papel fundamental no debate sobre as alterações climáticas e do desenvolvimento sustentável, devido ao elevado impacto ambiental e social associado às suas operações. Embora a noção de sustentabilidade tenha já sido abordada na presente dissertação, a noção da sustentabilidade no setor da aviação exige uma análise específica devido à sua particularidade, com foco nas emissões atmosféricas, ruído e utilização de recursos. Segundo as previsões da EUROCONTROL (2024), o número de operações aéreas poderá crescer mais de 30% até 2030, em comparação com os números de 2019, o que acentua a necessidade de medidas mitigadoras eficazes, implementadas atempadamente.

De acordo com Klöwer et al. (2021), a aviação foi responsável, segundo dados de 2021, por cerca de 2,4% das emissões globais de dióxido de carbono de origem antropogénica, tendo sido, até à data, responsável por aproximadamente 4% do aquecimento global registado. O impacto ambiental da indústria aeronáutica deriva, não apenas da operação de aeronaves, mas também das operações de aeródromo, que requerem a utilização de veículos e equipamentos especializados para o efeito.

Ferreira et al. (2024), focando-se na compreensão dos impactos ambientais das diversas áreas aeroportuárias, cria uma matriz de sustentabilidade ambiental que permite compreender a capacidade de cada aeroporto analisado neste âmbito, podendo esta também ser utilizada como método de comparação entre aeroportos. Para tal, esta utiliza como principais parâmetros: a poluição sonora, a poluição atmosférica, o desperdício e contaminação da água e a gestão energética como áreas chave para determinar a capacidade ambiental de sustentabilidade de um aeroporto. Embora englobe o ecossistema aeroportuário como um todo, foca questões pertinentes ao contexto das operações aeroportuárias, tais como as poluições atmosférica e sonora. Apesar de ser realizado com foco no aeroporto como um todo, a adaptação desta matriz para o contexto das operações aeroportuárias possibilita a avaliação das mesmas, permitindo quantificar o seu impacto.

Estas duas questões mencionadas são fulcrais para a análise de aeroportos como o AHD, dado que este se encontra situado no interior da cidade de Lisboa e, por isso, com impacto direto na saúde da população que nela habita (Lusa, 2024). Neste caso, um estudo realizado por van Seters et al. (2024), com foco na análise do impacto das *ultrafine particles* (UFP) existentes ao redor de aeroportos, resultantes da operação de aeronaves em aeroportos localizados próximos de centros populacionais, na população destes, denota que o efeito da presença das UFP provoca um aumento na prevalência de doenças nas populações próximas, no caso de aeroportos localizados a menos de 5 quilómetros de centros populacionais, como demência e diabetes, em cerca de 20%, e hipertensão em cerca de 7%. Analisando, não só as populações localizadas a menos de 5 quilómetros dos aeroportos, o estudo também conclui que, em média, a incidência, em populações que habitam em regiões próximas aos aeroportos, na UE, é de cerca de 7,3% para doenças como demência, quando comparado com a média da população, 4,2% para as diabetes e 2,6% para hipertensão. De notar que as percentagens obtidas para os aeroportos analisados estão de acordo com o uso de medicação destinada ao tratamento de cada doença mencionada, sendo o AHD um dos aeroportos analisados neste estudo.

Já Planès et al. (2021) foca a ferramenta CAST (*Climate and Aviation – Sustainable Trajectories*), utilizando uma metodologia adaptada à indústria aeronáutica, na determinação do impacto ambiental desta, focando-se nas emissões de dióxido de carbono. Esta utiliza o tráfego aéreo, o consumo de energia derivado do uso das aeronaves e as medidas de descarbonização como medidas iniciais de análise, complementando-as com o orçamento dedicado à descarbonização de cada entidade. Apesar de se focar nas emissões de dióxido de carbono, este estudo entende que o caminho tomado atualmente não é sustentável, de modo a atingir as diversas metas impostas pelo acordo de Paris, que pretende limitar o aumento da temperatura média do planeta aos 2ºC no presente século, comparado com valores "pré-industriais" (*United Nations,* 2015). Para que tal seja possível, é necessário o investimento financeiro em novas tecnologias e a implementação de estratégias, ou a redução do número de operações aeronáuticas ao nível atual, para que estas metas sejam atingidas.

Face a estas questões, as entidades europeias responsáveis por regular a indústria aeronáutica determinam metas e modificam os regulamentos em vigor, de modo que estes estejam de acordo com as políticas em vigor. Dado que o foco da presente dissertação é em casos europeus, e sendo a indústria europeia tendencialmente regulatória, torna-se um bom exemplo para a análise do efeito das regulações e metas, nestes (Majone, 1994). Como tal, a UE, através do Pacto Ecológico Europeu, definiu o plano "*Fit for 55*", que visa uma redução

de 55% das emissões de gases com efeito de estufa até 2030, face aos valores de 1990, procurando que os países da UE atinjam o marco da neutralidade carbónica até 2050 (Erbach et al., 2022).

2.2.2. Acreditação ACA

As medidas impostas pela EU, mencionadas anteriormente, focam nas emissões diretas dos aeroportos, de *scope 1*, provenientes da utilização de veículos de apoio a aeronaves, das aeronaves e da energia que os aeroportos utilizam para o funcionamento das operações aeroportuárias. Já as emissões indiretas, *scope* 2, são as relativas à compra de energia, onde está incluída toda a eletricidade, aquecimento e arrefecimento, comprados a empresas. De modo a quantificar o impacto do esforço de cada aeroporto, através da implementação de medidas na gestão aeroportuária, são adotadas as medidas do padrão ACA (*Airport Carbon Accreditation*). O propósito deste é potenciar a implementação de boas práticas na gestão das emissões de carbono, de forma a atingir um rácio negativo de emissões e, para tal, avalia a quantificação, a gestão de recursos e a redução do consumo de energia proveniente de fontes com pegada carbónica. Este está dividido em sete níveis, sendo que para progredir para o próximo nível, é necessário possuir os requisitos do anterior, complementando com os do nível a atingir.

Nível 1 ACA – Planeamento

Sendo o primeiro nível de acreditação de gestão das emissões de carbono de um aeroporto, este visa a garantia da responsabilidade, por parte da gestão aeroportuária, através da recolha e tratamento de dados relativos às emissões de carbono provenientes das suas operações. Para a obtenção deste, é requerida a separação entre os setores operacionais do aeroporto, com o propósito de elaborar relatórios anuais com dados referentes às emissões de carbono por cada setor de análise. Estes dados são posteriormente separados em emissões de *scope* 1 e 2 (*Level 1 - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Nível 2 ACA – Redução

Este, além dos requisitos presentes no nível 1, requer que o aeroporto possua um plano de gestão focado nas emissões de carbono, com metas definidas e provas das reduções, com o objetivo de reduzir o valor das emissões do ano em questão face à média dos últimos três anos. Exemplos práticos de medidas incluídas neste nível são: a redução da procura por energia e, no caso de ser necessário, a procura proveniente de fontes sem emissões de carbono, tal como a procura pela eficiência dos ativos que utilizam eletricidade, como através da substituição de veículos aeroportuários para versões elétricas, híbridas ou que utilizem hidrogénio ou gás natural.

Também são exemplos a existência de planos de comunicação e envolvimento dos trabalhadores e a preferência por projetos cujo foco seja a redução das emissões de carbono, com vista à redução das emissões nas cadeias de fornecimento (*Level 2 - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Nível 3 ACA – Otimização

Este requer os requisitos do nível 2, procurando que o alcance das medidas impostas anteriormente englobem o aeroporto na sua totalidade, identificando as emissões de *scope* 3, que incluem a quantificação total das emissões de carbono referentes aos ciclos de rotação das aeronaves, desde a aterragem até à descolagem, e as emissões de carbono que os transportes, de e para o aeroporto, por parte de passageiros e trabalhadores do aeroporto, possuem. Também requer provas da cooperação com entidades terceiras, com vista à redução das emissões de carbono relacionadas com a atividade aeroportuária. Para tal, é necessário que um aeroporto possua linhas de comunicação estabelecidas com as entidades parceiras que realizam serviços relacionados com a atividade aeroportuária, compreendendo a capacidade deste em distinguir quais consegue influenciar ou fazer alterar as práticas. Exemplos de práticas para a obtenção deste nível são: a adoção de práticas de sensibilização e para a mudança de hábitos relacionados com a adoção de fontes com uma reduzida emissão de carbono; criação de campanhas para a utilização responsável de viaturas, através da redução do uso destas e do uso inteligente relacionado com os carregadores elétricos; a redução do uso de APU e dos tempos de *taxi*; a realização de ações de formação em práticas de gestão das emissões de carbono a entidades terceiras; a criação de requisitos mínimos operacionais para áreas como a construção, vendas e retalho, operações e gestão de frotas; formulação de parcerias estratégicas com entidades terceiras estratégicas, como operadores aéreos ou entidades de *handling*, com vista à elaboração de um plano de investimento e de projetos de adoção de práticas de gestão das emissões de carbono, como a adoção dos *sustainable aviation fuels* (SAF) (*Level 3 - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Relativamente aos SAF, o regulamento "*ReFuelEU Aviation"* impõe que, a partir de 2025, pelo menos 2% do combustível utilizado em voos, com origem em aeroportos da UE seja proveniente de SAF, aumentando para 5% em 2030 e prevendo que o uso deste alcance, até 2050, os 70% (*European Commission*, 2023). Aliado com as medidas de utilização de SAF na indústria aeronáutica, o EU *Emissions Trading Scheme* (EU ETS) visa estabelecer limites máximos às emissões de dióxido de carbono, tornando necessária a aquisição de licenças de

emissões, funcionando como mecanismos de desincentivo à realização de atividades que produzam um elevado número de emissões (Finger et al., 2021).

Nível 3+ ACA – Otimização+

Este nível requer os requisitos do nível 3, focando-se na procura pelo equilíbrio, garantindo que os aeroportos possuem um plano em que seja possível compensar, através de projetos que visam a redução das emissões de carbono, as emissões provenientes de áreas onde a sua eliminação é impossível, através de investimentos em áreas que procurem compensar esta inevitabilidade. Apesar de possuir este propósito, também é compreendido que, atingi-lo sem possuir os meios para garantir um estável avanço nas medidas de redução das emissões de carbono, não é o objetivo. Daí, um dado importante do nível 3+ é o objetivo em garantir que o foco dos aeroportos em explorar estratégias que visem a exploração em compensar as emissões de carbono, oriundas de fontes cuja eliminação não é possível, com projetos que visem a redução do impacto ambiental, seja realizado quando estes alcançarem uma posição em que não existe qualquer área em que seja possível realizar alguma melhoria no sentido de reduzir as emissões de carbono (*Level 3+ - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Nível 4 ACA – Transformação

Requerendo os requisitos presentes no nível 3+, o nível 4 é marcado por ser aquele em que se inicia a transformação da estratégia aeroportuária, de forma a atingir as metas internacionais relacionadas com a redução do impacto ambiental, indo de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o plano do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, que visa a limitação do aquecimento global em 1,5ºC, procurando o marco das emissões zero até 2050 (Masson-Delmotte et al., 2019). Este nível requer a existência de diversos requisitos para atingir este objetivo, dos quais políticas de compromisso absoluto para a redução de emissões, a expansão da identificação do que compõem as emissões de *scope* 1, 2 e 3, a criação de um plano a longo prazo para atingir as metas do IPCC e o desenvolvimento de um plano de parcerias com *stakeholders*. Neste plano com os *stakeholders*, o objetivo está em garantir que as parcerias do aeroporto são realizadas com empresas que ativamente procuram ir ao encontro com as metas de redução das emissões de carbono, consolidando a estratégia aeroportuária neste sentido (*Level 4 - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Nível 4+ ACA - Transformação+

Requerendo os requisitos presentes no nível 4, este nível é uma extensão do nível 4, que requer a extensão do grau de compensação das emissões, das atividades em que não é possível

aumentar a redução, às emissões relacionadas com os trabalhadores do aeroporto e de deslocações de pessoal, através de meios internacionalmente reconhecidos para tal. Um exemplo fornecido pelo ACA é o investimento na energia eólica, com vista à substituição para fontes de energia que utilizem o carvão (*Level 4+ - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

Nível 5 ACA – Neutralidade

Sendo o nível máximo do ACA, este nível representa o objetivo máximo de um aeroporto que procura ser reconhecido internacionalmente no âmbito das emissões de carbono. Para tal, este necessita de: fornecer um relatório com dados certificados das emissões de *scope* 1 e 2, tal como todas as categorias relevantes das emissões de *scope* 3, de acordo com os requerimentos do protocolo do ACA para estas emissões; alcançar, e manter, um valor, igual ou superior a 90%, na redução das emissões de dióxido de carbono nas emissões de *scope* 1 e 2, tal como alcançar a neutralidade nas emissões de scope 3 até 2050; remover o carbono das emissões residuais do aeroporto, através de métodos credíveis para tal; produzir um plano de gestão de carbono com metas definidas para atingir os resultados pretendidos; produzir um plano de parceria com *stakeholders*, com foco nas emissões de *scope* 3, através da parceria com estes, com o propósito de garantir que estes possuem estratégias nas suas cadeias de valor que os permitam atingir o marco das zero emissões, utilizando para tal metas definidas (*Level 5 - Airport Carbon Accreditation*, 2025).

2.2.3. Sustentabilidade nas operações de aeródromo

As operações de aeródromo, através da utilização de GSE nas suas operações, apresenta-se como uma fonte de emissões de carbono com um impacto relevante, sendo, por isso, a redução das suas emissões, através de estratégias de gestão, um método a adotar pelos aeroportos para estes atingirem as metas impostas pelas entidades regulatórias. Devido às diversas operações realizadas no âmbito das operações de aeródromo, as fontes de emissões estão relacionadas com a utilização de veículos, dado que são estes uma peça fulcral para a realização desta, quer seja pela tipologia de veículo utilizado, como é o caso de reboques de aeronaves, que de veículos de transporte de pessoas e bens, ou ferramentas, para a realização das operações de aeródromo, como é o caso dos veículos de transporte de pessoas que realizam a limpeza das aeronaves. Uma área que é constantemente afetada pela utilização destes equipamentos situa-se na proximidade dos terminais e nas plataformas de estacionamento, sendo a qualidade do ar afetada diretamente, promovendo a exposição das populações e dos trabalhadores do aeroporto,

apresentando-se, assim, como um fator de análise no que toca à mitigação, no curto e médio prazo, da redução das emissões nos aeroportos (Masiol & Harrison, 2014).

Eletrificação dos GSE e o uso de HVO

A eletrificação dos GSE apresenta-se como uma solução para a questão da necessidade de reduzir as emissões atmosféricas durante as operações de aeródromo, eliminando-as durante a sua utilização e reduzindo também o ruído por estas criado. Isto permite também fornecer novas oportunidades operacionais quando estes chegam ao seu fim de vida útil.

Através da utilização dos mesmos, não propriamente com o objetivo da substituição da frota de GSE com a sustentabilidade como motivação, Alruwaili & Cipcigan (2022) estudam a possibilidade de se utilizarem estes veículos, em rede, como estratégia para regularizar a frequência das redes elétricas, criando benefícios ambientais, com viabilidades operacionais e económicas. No entanto, devido às características destes veículos, carentes de períodos de carregamento, é necessário incluir a possibilidade da sua utilização com benefícios puramente operacionais, isto é, onde a sua disponibilidade não seja uma questão. Para tal, Sari et al. (2022) exploram a utilização de combustíveis sustentáveis e a eletrificação nos GSE. Compreende-se que a realização de operações de curta duração, previsíveis e com janelas de inatividade consequentes, favorecem a competitividade operacional e económica destes GSE, desde que a sua estratégia de carregamento e a infraestrutura elétrica destinada a estes seja dimensionada adequadamente para o tempo de operação necessário.

No caso de aeroportos onde a substituição dos GSE pela alternativa elétrica não é possível, seja esta por razões económicas ou puramente operacionais, existe a possibilidade de se utilizar o *hydrotreated vegetable oil* (HVO), sendo a sua utilização possível nos motores a combustão interna, a gasóleo. Para o caso dos GSE que possuem motores a combustão interna, alimentados a gasóleo, a utilização de biocombustíveis é considerada uma alternativa de transição, onde o HVO se apresenta como alternativa, a curto prazo, para GSE com particularidades únicas, tal como no caso de tratores de aeronaves pesados. Não só, mas o HVO também se pode apresentar como uma oportunidade intermédia para aeroportos onde existe a incapacidade em adotar sistemas elétricos de carregamento ou onde as características deste não o permitem. A adoção do HVO permite a redução substancial de partículas emitidas, tal como os óxidos de azoto, apresentando os veículos que o utilizam emissões menores (Dimitriadis et al., 2018). Esta diminuição acontece, tanto no caso de veículos com motores de pequenas dimensões, como os ligeiros de passageiros, tal como veículos com motores maiores, como é o caso dos veículos de

reboque a aeronaves, sendo ainda mais significativa nestes últimos (McCaffery et al., 2022). No que toca à operacionalidade das operações de aeródromo, a utilização deste, enquanto se dá a adaptação de frotas de GSE, apresenta-se, não só como uma medida de transição, como uma oportunidade, no caso dos veículos cuja substituição não seja viável, ou possível.

De modo a monitorizar as evoluções nas mudanças de quantidades de partículas no ar, no interior e ao redor dos aeroportos, é necessário equipamento para tal. Através da monitorização da qualidade do ar em plataformas e das vias de circulação, é possível observar alterações associadas aos diversos usos dados aos GSE durante a sua operação. É com este foco em análise que, através da análise da qualidade do ar ao redor dos aeroportos, é possível notar a significativa quantidade de gases nocivos, no aeroporto internacional de Los Angeles (Hudda et al., 2014) e no aeroporto de Schiphol, Amsterdão (Keuken et al., 2015). Através destes estudos, foram criadas métricas de análise, tal como a sugestão da adoção de medidas interventivas para reduzir a deterioração da qualidade do ar, a eletrificação dos GSE e a adoção do HVO, entre outras. Através da análise de métricas específicas, captadas próximas das áreas de emissão, é possível quantificar o impacto da mudança implementada.

Existem vantagens ambientais reais derivadas da introdução de modelos eletrificados para substituir os GSE com motores a combustão nas frotas ou através da utilização de HVO como medida alternativa à eletrificação. Porém, existe também a possibilidade de existir uma incapacidade operacional relacionada com a sua implementação, quer seja por incapacidade do aeroporto em adotar estas medidas, quer pela inação das empresas que operam estes veículos ao fazê-lo. Para tal, é necessário que, quer os aeroportos quer as empresas possuam modelos integrados, que os possibilitem compreender a quantidade de GSE necessários para a operação, quais as janelas de operação e qual é a necessidade da disponibilidade imediata destes num determinado momento, de modo a não comprometer as operações de aeródromo num dado aeroporto (Sznajderman, Coppa, & Martianera, 2022; Alruwaili & Cipcigan, 2022; Sari et al., 2022).

3. Metodologia

A presente dissertação, tendo como um dos seus objetivos, caracterizar o ecossistema aeroportuário, especificamente de aeroportos de elevadas dimensões e com elevado volume de tráfego, visa dar a compreender de que forma estes estão a reagir às metas impostas no âmbito da sustentabilidade, nomeadamente nas adaptações às estratégias implementadas para operações de aeródromo. Com este objetivo, pretende-se compreender o impacto que as operações de aeródromo, nomeadamente através do uso de GSE, possuem na questão da sustentabilidade, e de que forma está o uso destes a ser adaptado para corresponder aos requisitos regulatórios impostos. Devido à pressão regulatória e à relevância que esta possui nas estratégias implementadas pelos aeroportos, com o objetivo de reduzir as emissões diretas e indiretas dos aeroportos, optou-se por realizar uma análise comparativa de três casos semelhantes, porém distintos, no âmbito aeroportuário europeu. Os aeroportos em análise são: Aeroporto de Heathrow, Londres (IATA: LHR; ICAO: EGLL); Aeroporto de Schiphol, Amsterdão (IATA: AMS; ICAO: EHAM); Aeroporto Humberto Delgado, Lisboa (IATA: LIS; ICAO: LPPT).

A decisão de utilizar esta metodologia de caráter comparativo é justificada pela natureza exploratória do tema em análise e do foco da investigação, tal como pela disponibilidade limitada de dados uniformizados entre aeroportos, que requer semelhanças entre diversos setores dos diferentes casos de estudo, de modo a validar a comparação de dados efetuada. Apesar de ser realizada uma comparação entre os casos de estudo, o objetivo primário desta não é generalizar os resultados, mas sim criar um panorama de estratégias adotadas, como resposta aos desafios regulatórios e sociais que estes aeroportos enfrentam. Esta análise segue um modelo de estudo de caso múltiplo de Yin (2018), que se adequa à investigação e análise de fenómenos contemporâneos num contexto prático, permitindo a preservação de questões relacionadas com a complexidade organizacional e operacional dos casos em estudo. As questões de investigação e o tema em análise da presente dissertação correspondem com o requerido pelo autor, que sugere a realização de um caso de estudo comparativo aquando da resposta positiva a três condições por ele colocadas. Estas são:

i. *As questões "como?" ou "porquê?" são colocadas frequentemente durante a investigação?* Sim, no decorrer da realização da investigação, as questões "como?", nomeadamente as relativas às estratégias adotadas pelos aeroportos, tais como as respostas às pressões regulatórias e sociais impostas, são frequentes, sendo estas um guia de desenvolvimento da dissertação, ao permitir identificar os temas necessários para a

investigação. Já as questões "porquê?" surgem, nomeadamente na fase da realização do caso de estudo comparativo, ao realizar a comparação das estratégias implementadas pelos aeroportos, devido ao facto de estes terem sido escolhidos pelas suas características semelhantes, suscitando o interesse pela compreensão do porquê da escolha de uma determinada estratégia e por compreender a razão da tomada de decisão de um aeroporto em escolher uma estratégia em função de outra, ou outras.

ii. *O investigador não possui controlo, ou possui pouco, no tema a ser abordado?* Sim, o tema a ser abordado envolve uma indústria na qual o investigador não possui qualquer influência, sendo meramente um observador dos factos a serem analisados. À semelhança do investigador, este ponto apresenta-se como uma oportunidade de análise, dado que os aeroportos estão sujeitos a diversas regulações das quais não possuem controlo. Estas regulações podem ser locais, cujo impacto pode não atingir as operações do aeródromo, como mudanças nas regras de trânsito ao redor da área aeroportuária, ou regulações nacionais e internacionais.

iii. *O foco do estudo é relacionado com um fenómeno contemporâneo?* Sim. Tal como já foi mencionado anteriormente, tanto o tema da evolução da indústria aeronáutica (e aeroportuária), como o tema da sustentabilidade, são áreas em constante evolução e, por isso, contemporâneas. Como tal, ambos os temas são relacionados, de forma a assimilar um estudo com uma relevância contemporânea e, para tal, além da revisão de literatura realizada, são analisados aeroportos reconhecidos internacionalmente, tanto pela dimensão na indústria, possuindo décadas de operação e evolução de estratégias implementadas ao longo desta, como também pelas metas atingidas, por estes, no âmbito da sustentabilidade em análise.

A razão da escolha dos aeroportos no estudo de caso envolve a mistura de três critérios: dimensão destes; tráfego anual de passageiros; relevância para o estudo da implementação de estratégias no âmbito da sustentabilidade. Os aeroportos em estudo são os maiores aeroportos, tanto em área, como de movimentos, dos países em que se situam, representando assim um elevado número de operações aeroportuárias e de aeródromo a decorrer em simultâneo nestes, sendo: um deles, o português, é o de maior relevância em Portugal, o aeroporto Humberto Delgado; o maior dos Países Baixos, o aeroporto de Schiphol, com elevado volume de tráfego e que, à semelhança do português, porém, estando no nível mais avançado dos níveis ACA, segue as regulações da EASA; um dos maiores *hubs* à escala global, que, apesar de operar com regras, com base nas definidas pela EASA, segue as da *Civil Aviation Authority* (CAA),

fornecendo um contraste em relação à entidade regulatória, o maior do Reino Unido, o aeroporto de Heathrow.

Com isto, a metodologia da presente dissertação será realizada através de um caso de estudo comparativo das estratégias implementadas pelos três aeroportos, de modo a identificar as semelhanças e as diferenças nas estratégias adotadas por estes, devido à sua posição semelhante no paradigma aeroportuário europeu.

Segundo Yin (2018), a metodologia de um estudo de caso múltiplo envolve a definição clara de focos de análise, de modo a permitir a consistência metodológica e a comparação dos casos. Os focos de análise, definidos como dimensões, são compostas com base nas questões de investigação da presente dissertação, permitindo, nos casos em análise, associar dados destes aos da revisão de literatura. Para tal, são definidas cinco dimensões para a análise, através de dados oriundos dos relatórios anuais, do período 2019-2024, dos respetivos aeroportos ou das entidades gestoras destes. Estas são:

i. Dimensão 1 – Perfil do aeroporto: Nesta dimensão, procura-se estabelecer o contexto da escolha do aeroporto para análise, através da descrição deste. Para tal, é realizada uma caracterização do aeroporto, explorando informações relativas ao: tráfego anual de passageiros; esquema do aeródromo; modelo de gestão; principais *stakeholders* nas operações de aeródromo; dados relativos à disponibilidade de serviços de *handling*.
ii. Dimensão 2 – Regulação e estratégias implementadas: Nesta dimensão, procura-se analisar as pressões regulatórias e a resposta dos aeroportos a estas. O objetivo desta é identificar um padrão comum entre os aeroportos, face às regulações a que estes estão sujeitos. São analisadas as respostas a temas como o *NetZero*, os níveis ACA e os requisitos impostos aos operadores de *handling*.
iii. Dimensão 3 – Implementação e desafios na eletrificação de GSE: Esta dimensão foca-se, à semelhança da dimensão 2, na implementação de estratégias relacionadas com as metas impostas, porém o foco é colocado nos GSE. São analisadas questões relativas às frotas de GSE, como: rácio entre GSE com motor a combustão interna e GSE elétricos ou com tecnologia sem emissões de carbono; número de postos de carregamento e projetos de expansão da rede destes; constrangimentos oriundos da implementação destas medidas. O objetivo desta dimensão é compreender a dimensão da implementação destas estratégias e as implicações oriundas destas.

iv. Dimensão 4 – Mitigação e soluções propostas: Nesta dimensão são analisadas as respostas dos aeroportos com o propósito de mitigar as dificuldades encontradas na implementação de projetos relacionados com a sustentabilidade nas operações de aeródromo, através das estratégias implementadas. São relacionados os desafios de cada aeroporto com as metas impostas, permitindo identificar a variação de estratégias implementadas entre aeroportos com pressões regulatórias semelhantes.

v. Dimensão 5: Análise das emissões de *scope* 1, 2 e 3: Nesta dimensão é elaborada uma tabela com os dados relativos às emissões de *scope* 1, 2 e 3 dos aeroportos em análise, permitindo compreender a relação entre as informações mencionadas nas dimensões anteriores com os dados divulgados relativos a estas emissões. Esta tabela permite compreender os efeitos das estratégias implementadas, através dos valores das emissões, relacionando estes valores com o número de passageiros processados em cada aeroporto, permitindo obter um valor que relaciona as emissões totais com os passageiros que viajaram pelo aeroporto.

4. Análise de resultados - Caso de estudo múltiplo

Neste capítulo, é realizado o caso de estudo múltiplo como descrito no capítulo da metodologia. Serão analisados os aeroportos de estudo e elaboradas as dimensões 1-4, numa primeira fase e, posteriormente, a dimensão 5 separadamente, dado que esta é comparativa entre todos os aeroportos.

4.1. Aeroporto de Heathrow - Londres (LHR)

Dimensão 1 - Perfil do aeroporto

Situado próximo da capital do Reino Unido, o aeroporto de Heathrow, em Londres, é o maior aeroporto do Reino Unido, servindo a sua capital e gerido pela *Heathrow Airport Ltd.* Este é o maior do país, tanto em área como em número de movimentos de aeronaves, tendo, em 2024, registado 83,9 milhões de passageiros, um aumento de 5,9% face a 2023. O seu aeródromo possui duas pistas paralelas (09L/27R; 09R/27L), quatro terminais de passageiros e um terminal de carga. Atualmente, a sua gestão possui uma gestão com estratégias implementadas com base no modelo ESG, através da estratégia "*Heathrow 2.0 - Connecting People and Planet"*, onde elabora e divulga os relatórios anuais com detalhes relativos à sustentabilidade e emissões (*Heathrow's Sustainability Report* 2023, 2024).

Dimensão 2 — Regulação e estratégias implementadas

O aeroporto de Heathrow anunciou a sua resposta às pressões regulatórias a eles impostas, em 2017, através da estratégia "*Heathrow 2.0 – Connecting People and Planet"*, tendo atualizado esta, em 2022, de modo a ir de acordo com o "*Net Zero Plan"*, que visa a redução das emissões de carbono, no Reino Unido, até 2050. Já a sua meta para 2030 incorpora metas como: a redução das emissões "*on the ground*" em 45%, face aos valores de 2019, e em 15% para as operações "*in the air*"; a redução para 33% do valor referente às emissões de carbono dos acessos realizados ao aeroporto; a redução em 87% das emissões oriundas dos veículos do aeródromo; a redução de 36% do valor das emissões referente à cadeia de valor do aeroporto; o alcance da meta da neutralidade carbónica dos edifícios e da infraestrutura do aeroporto na década de 2030. Atualmente, todas as metas são consideradas possíveis de atingir, sendo que apenas é mencionada a dificuldade na primeira meta mencionada, devido ao aumento inesperado do tráfego aéreo.

A elaboração dos relatórios é realizada através do estabelecido no protocolo de *greenhouse gas* (GHG), que visa estabelecer um padrão internacional de medição e gestão das emissões de

gases com efeitos de estufa (World Resources Institute, 2004). Com estas medidas, o nível ACA atual do aeroporto de Heathrow é o nível 4+ ACA, encontrando-se atualmente na fase de transição e possuindo estratégias de gestão implementadas alinhadas com as regulações internacionais a ele impostas, faltando apenas atingir a meta de emissões zero para atingir o nível 5 ACA. Para tal, a prioridade no âmbito da sustentabilidade passa por diversos pontos, entre os quais a redução das emissões de *scope* 1 e 2 e o investimento em projetos com os *stakeholders*, de modo a reduzir as emissões de *scope* 3 (*Heathrow's Sustainability Report* 2023, 2024).

Dimensão 3 - Implementação e desafios na eletrificação de GSE

Face às regulações e metas impostas no âmbito da sustentabilidade e redução de emissões, o aeroporto de Heathrow adota uma estratégia de eletrificação dos GSE extensa. O objetivo desta visa, até 2030, uma redução de 87% das emissões oriundas dos veículos do aeródromo, procurando que a frota de veículos de aeródromo seja totalmente composta por alternativas sem emissões e com recurso a HVO. Os dados de 2023 indicam que uma quantidade significativa dos veículos operados no aeródromo já são elétricos ou já utilizam HVO, sendo que é fornecido HVO a veículos cuja substituição por GSE elétricos ainda não é possível. A infraestrutura de carregamento de veículos também foi expandida, tendo sido instalados postos de carregamento rápidos em 2023, levando a um aumento, de ano para ano, em energia consumida por estes (*Heathrow's Sustainability Report* 2023, 2024).

No entanto, surgem limitações relacionadas com esta modernização das frotas de GSE, tais como: picos de consumo de eletricidade durante determinadas janelas de operação diárias, em que existe um número superior de aeronaves a fazer o *turnaround* num determinado momento; coordenação com as entidades de *handling* para coordenar a adoção de GPU elétricos e criar planos de carregamento de veículos (*Heathrow's Sustainability Report* 2023, 2024).

Dimensão 4 - Mitigação e soluções propostas

De modo a aliviar o impacto das estratégias implementadas, foram adotadas estratégias de mitigação, de modo a garantir a operação contínua, tais como: a gestão da potência e da infraestrutura elétrica, através do reforço da distribuição elétrica e da expansão de postos de carregamento; criação da prática de não utilização do APU que, de modo a que seja implementada, e que possua um impacto na redução das emissões, requer a adoção generalizada de GPU elétricos nas plataformas de estacionamento; criação de zonas de emissões reduzidas, no lado ar do aeródromo, eliminando a concentração elevada de determinadas emissões em

determinadas áreas do aeródromo; criação de projetos de cooperação com entidades, de forma a padronizar as práticas nas operações de aeródromo; redução das emissões de *scope* 3 (Heathrow's Sustainability Report 2023, 2024).

4.2. Aeroporto de Schiphol – Amsterdão (AMS)

Dimensão 1 – Perfil do aeroporto

Inaugurado em 1916, o aeroporto de Schiphol, situado na capital dos Países Baixos, em Amsterdão, é gerido pela *Royal Schiphol Group* (RSG), sendo o maior aeroporto, em área do país. Possui também o maior número de movimentos registados, e de passageiros processados nele, tendo registado, em 2024, 66,8 milhões de passageiros, um aumento de 7,9% face ao ano anterior. Este possui 6 pistas (04/22; 06/24; 09/27; 18R/36L; 18C/36C; 18L/36R), concentrando todas as suas operações num único terminal, onde são processados os passageiros e a carga que por ele transitam. Este possui um modelo de gestão que incorpora as medidas do ESG, onde são divulgados relatórios consolidados, com foco nas emissões, uso de energia, o estado das suas operações, a cadeia de valor e a sua relação com os *stakeholders* (*Annual Report* 2024 - *Royal Schiphol Group*, 2025).

Dimensão 2 - Regulação e estratégias implementadas

O aeroporto de Schiphol implementou, face às regulações a que é sujeito, o plano *"Most Sustainable Airports"*, estando este descrito nos seus relatórios anuais, alinhando as suas metas com o protocolo de GHG e com o Acordo de Paris de 2015, procurando implementar medidas que visam o controlo do aumento da temperatura do planeta, através da implementação de estratégias que visam a redução das emissões de carbono e gases poluentes. Através deste, e no âmbito dos níveis ACA, este aeroporto possui o nível 5 desde 2023, possuindo: reduções confirmadas das emissões de *scope* 1 e 2, em 90%, face a 2010; um plano consolidado de relacionamento com os *stakeholders*, para a redução das emissões de *scope* 3; critérios definidos para a estratégia futura no âmbito da sustentabilidade. O plano do aeroporto de Schiphol foca, até 2030: a eliminação das emissões de *scope* 1 e 2; atingir os valores das emissões de carbono para valores de 2005, ou abaixo do âmbito nacional; atingir um equilíbrio com a comunidade local, através do controlo de ruído, qualidade do ar e, consequentemente, da melhoria da qualidade de vida das pessoas; controlo da qualidade do ar em determinadas regiões do aeródromo, permitindo um ambiente de trabalho seguro para os trabalhadores do aeroporto. Já para 2050, também são definidos objetivos, como: a produção de energia 100% renovável nos

aeroportos, para consumo próprio; emissões de *scope* 3 neutras, ou de acordo com as metas definidas no setor da indústria específica (*Annual Report* 2024 - *Royal Schiphol Group*, 2025).

Dimensão 3 - Implementação e desafios na eletrificação de GSE

Face às tendências regulatórias, as estratégias implementadas pelo aeroporto de Schiphol, focam-se em diversos focos operacionais, sendo eles: a substituição de GSE com motores a combustão interna por GSE elétricos; a expansão da infraestrutura elétrica no aeródromo, através da estratégia "*Electrification of Airside*" fornecendo uma maior capacidade aos veículos que operam no aeroporto, tal como o aumento dos postos de carregamento e a realização do reforço da rede elétrica; o aumento e a modernização de GPU elétricos nas plataformas de estacionamento, possibilitando a redução do uso de APU durante o período de *turnaround* das aeronaves, através da disponibilização de GPU elétricos em quantidade suficiente no aeródromo; disponibilização de HVO para substituir o combustível utilizado nos equipamentos com motores a combustão interna.

São mencionados desafios operacionais relacionados com estas implementações, tal como: alterações às regulações impostas, tal como as do âmbito dos planos "*Fit for 55*" ou do EU ETS; a gestão da capacidade elétrica, devido à capacidade elétrica disponível num determinado momento, requerendo uma rede elétrica com dimensão e capacidade suficientes; a necessidade de medidas de gestão inteligente de carregamento dos veículos, de modo a resistir a períodos de picos operacionais; da cooperação entre entidades, a fim da criação de um plano coeso de ação no aeródromo (*Annual Report* 2024 - *Royal Schiphol Group*, 2025).

Dimensão 4 - Mitigação e soluções propostas

De forma a mitigar os impactos das estratégias adotadas, em simultâneo à aceleração do fenómeno da transição para a redução das emissões de carbono, o aeroporto de Schiphol estabelece como resposta: a gestão da potência, de modo a viabilizar a realização de carregamentos inteligentes dos GSE, a fim da capacitação do sistema para suportar picos superiores de operações; a criação de um conjunto de GSE partilhados entre entidades de *handling*, de modo a reduzir o impacto em cada entidade e reduzindo o número total de GSE, tal como um reforço da rede elétrica interna e a expansão do número de postos de carregamento; a realização de contratos de compra de eletricidade com entidades com emissões de carbono reduzidas, através de estratégias com este propósito; criação de protocolos operacionais que visem a normalização da não utilização do APU, através do uso de GPU, durante os períodos de *turnaround*; implementação de projetos com entidades que de *handling*, companhias aéreas

e entidades terceiras, de modo a reduzir as emissões de *scope* 3 (*Annual Report* 2024 - *Royal Schiphol Group*, 2025).

4.3. Aeroporto Humberto Delgado - Lisboa (LIS)

Dimensão 1 – Perfil do aeroporto

O AHD, situado na capital portuguesa, é o aeroporto de maior relevância do território português, sendo também o maior em número de movimentos de aeronaves e de tráfego anual de passageiros, estando concessionado à entidade ANA Aeroportos de Portugal. Segundo os números de 2024, o número de passageiros que viajaram através deste aeroporto foi de 35,1 milhões, tendo este valor sido 4,3% superior ao número referente a 2023, ultrapassando o valor referente a 2019, de 31,1 milhões de passageiros. AHD possui uma única pista (02/20), estando limitado operacionalmente, não sendo, por isso, possível exceder o número de movimentos acima de um determinado valor. Não obstante, este tem desenvolvido projetos e estratégias, no âmbito da redução das emissões, gestão de energia, operações e da cadeia de valor, demonstrando um esforço contínuo na implementação de medidas sustentáveis (*Sustainability Report* 2024, 2025).

Dimensão 2 - Regulação e estratégias implementadas

Como resposta às regulações a que está sujeito, o AHD implementou, em 2022, um plano estratégico para atingir metas de sustentabilidade, integrado nos relatórios da ANA Aeroportos de Portugal, onde inclui metas que visem este atingir a neutralidade das emissões de *scope* 1 e 2, tal como a integração de entidades terceiras, como entidades de *handling* e fornecedores de bens e serviços, em projetos que visam a redução das emissões. Para tal, foram definidas metas no âmbito da sustentabilidade, nos diversos relatórios, tal como a realização destes com base nos protocolos de GHG, com vista à convergência com as estratégias ambientais da VINCI Airports. Sendo que a estratégia do AHD é definida pela VINCI Airports, e é introduzida num plano nacional, onde projetos piloto são efetuados nos aeroportos, nem todas as implicações descritas nos relatórios se aplicam exclusivamente ao aeroporto Humberto Delgado, se é que se aplicam. No entanto, o AHD é palco da implementação de diversas medidas, tal como o projeto AIRPACT 2030. Este é um projeto com alcance global da VINCI Airports, cujo objetivo é atingir metas de sustentabilidade até 2030 estabelecidas internacionalmente, nomeadamente a redução das emissões de *scope* 1 e 2. Estas englobam áreas como: energia e alterações climáticas; economia circular e gestão de resíduos; água e o ambiente. A estratégia definida para cada aeroporto com gestão da ANA Aeroportos de Portugal, como o AHD, foi finalizada

em 2020, tendo sido implementadas mudanças como: a utilização de iluminação mais eficiente, aumentando a eficiência energética; no âmbito de veículos que circulam no aeródromo, a aquisição de alternativas elétricas e a criação de campanhas para a utilização de HVO nos veículos com motores de combustão interna.

Incluído no projeto AIRPACT 2030, a descarbonização das operações de aeródromo, com o projeto interno, o *Electrification of Ground Operations ANA* (eGOANA), cujo objetivo incide nomeadamente nas fontes de emissões de *scope* 1 e 2, através da eletrificação progressiva das frotas de veículos que realizam operações de aeródromo. Além da eletrificação de veículos, foram implementadas outras estratégias, tais como: o aumento do número de GPU elétricos, com vista à possibilidade da não utilização do APU durante o *turnaround*; dar prioridade ao uso de energia elétrica, com reduzida emissão de carbono associada à sua produção, nos terminais e equipamentos; o aumento da eficiência energética dos terminais, através de programas de substituição de equipamentos, de forma a reduzir o consumo de eletricidade; melhorias na gestão das cadeias de valor, através da definição de requisitos técnicos mínimos e na criação de iniciativas de relacionamento com entidades de handling e fornecedores, com vista à aceleração da adoção de GSE com reduzidas emissões e de práticas operacionais, com foco na sustentabilidade; a consolidação da aplicação de medidas associadas ao protocolo de GHG (*Sustainability Report* 2023, 2024; *Sustainability Report* 2024, 2025).

Já no âmbito dos níveis ACA, o AHD situa-se no nível 4+ ACA, na fase de transição, onde a procura por reduzir as emissões de *scope* 1 e 2, tal como a implementação de estratégias com o propósito de reduzir as emissões de *scope* 3 continua a ser uma prioridade, de forma a este atingir o nível 5 ACA, da neutralidade carbónica (*Sustainability Report* 2024, 2025).

Dimensão 3 - Implementação e desafios na eletrificação de GSE

As estratégias implementadas para a redução das emissões, são evidenciadas em três focos operacionais: a eletrificação de GSE, com recurso à gradual substituição de equipamentos onde existem alternativas; a melhoria da infraestrutura elétrica no aeródromo, tal como através da instalação de fontes de energia renovável, do aumento do número de postos de carregamento e do reforço da rede elétrica, de modo a compensar os ciclos de *turnaround* das aeronaves e permitindo a adaptação, por parte de mais entidades, à eletrificação de veículos; implementação de serviços fixos na plataforma de estacionamento, com recurso a GPU elétrico, com vista à viabilização da não utilização do APU pelas aeronaves. No entanto, surgem desafios associados a esta implementação, tais como: a gestão da capacidade elétrica em períodos de picos de uso

de energia; existência de períodos de carregamento curtos, face à elevada procura por postos de carregamento em períodos de pico; a necessidade de coordenação com as duas entidades de *handling* principais do aeroporto, de modo a implementar projetos estratégicos, devido a discrepâncias nas estratégias de cada uma (*Sustainability Report* 2023, 2024; *Sustainability Report* 2024, 2025).

Dimensão 4 - Mitigação e soluções propostas

São descritas soluções para a mitigação das estratégias implementadas, ou planeadas para a implementação, tais como: a gestão de períodos de potência e da utilização de carregamentos inteligentes para os GSE; aumento da capacidade da rede elétrica aeroportuária, de modo a ser capaz de suportar o aumento da rede de carregamento, tal como a instalação gradual de GPU elétricos, de modo a atingir a meta imposta de permitir a não utilização de APU durante o *turnaround*; a celebração de contratos com entidades fornecedores de energia com origem em fontes com emissões reduzidas de carbono, tal como a instalação de painéis fotovoltaicos para autoconsumo, que permitirão a redução de emissões e de custos associados à compra de energia; aumento da eficiência energética no aeroporto. Para tal, a ANA Aeroportos de Portugal elabora padrões técnicos para entidades que operam no aeródromo, com metas para as emissões de *scope* 1 e 2 e melhorias na divulgação de dados, de forma a melhorar a capacidade de redução das emissões de *scope* 3. Estas medidas englobam as diversas áreas onde existem as emissões de carbono, porém a sua implementação é gradual e faseada, permitindo a monitorização da mesma, além da necessidade de licenciamento para a implementação de determinados projetos, tal como o relativo à instalação de painéis fotovoltaicos (*Sustainability Report* 2023, 2024; *Sustainability Report* 2024, 2025).

4.4. Dimensão 5 - Análise emissões de *scope* 1, 2 e 3

Quadro 1 - Tabela comparativa das emissões *scope* 1, 2 e 3 entre os aeroportos LHR, AMS (e RSG) e LIS, no período 2019-2024.

		Emissões de *scope* 1	Emissões de *scope* 2	Emissões de *scope* 3	Emissões totais	Total de passageiros	Emissões totais/ Total de passageiros
LHR	2019	26 998	71 163	21 013 718	21 111 879	80,9	0,260
	2020	23 209	52 392	8 845 765	8 921 491	22,1	0,403
	2021	29 091	49 066	8 221 882	8 300 039	19,4	0,427
	2022	29 806	52 717	14 908 385	14 990 908	61,6	0,243
	2023	32 116	56 134	18 742 184	18 830 434	79,2	0,237
	2024	28 054	56 339	19 374 834	19 459 227	83,9	0,231
AMS	2019	19 037	101 239	1 240 512	1 360 788	71,7	0,018
	2020	12 162	74 768	686 767	773 697	20,9	0,037
	2021	21 272	76 350	8 926 406	9 024 028	25,5	0,353
	2022	17 728	87 125	\	\	52,5	\
	2023	\	\	\	\	61,9	\
	2024	\	\	\	\	66,8	\
RSG	2019	22 740	116 421	12 243 946	12 383 107	\	\
	2023	11 850	68 013	11 025 544	11 105 407	70,9	0,156
	2024	11 920	79 467	11 790 924	11 882 311	75,8	0,156
LIS	2019	4 941	15 213	30 693 437	30 713 591	31,1	0,980
	2020	\	\	\	\	9,2	\
	2021	3 353	6 419	1 748 294	1 758 066	12,1	0,145
	2022	3 508	8 154	3 211 408	3 223 070	28,2	0,114
	2023	2 990	5 076	3 317 979	3 326 045	33,6	0,098
	2024	3 125	2 662	3 800 902	3 806 689	35,1	0,108

Fonte: Elaboração própria com base nos relatórios anuais e de sustentabilidade dos aeroportos em análise *(Heathrow 2.0 2019 Sustainability Progress, 2020; Heathrow 2.0 2020 Sustainability Progress, 2021; Heathrow Sustainability Report 2021, 2022; Heathrow's Sustainability Report 2022, 2023; Heathrow's Sustainability Report 2023, 2024; Heathrow's Sustainability Report 2024, 2025; Annual Report 2019 - Royal Schiphol Group, 2020; Annual Report 2020 - Royal Schiphol Group, 2021; Annual Report 2021 - Royal Schiphol Group, 2022; Annual Report 2022 - Royal Schiphol Group, 2023; Annual Report 2023 - Royal Schiphol Group, 2024; Annual Report 2024 - Royal Schiphol Group, 2025; Environmental Performance Report 2019, 2020; Environmental Performance Report 2020, 2021; Environmental Performance Report 2021, 2022; Sustainability Report 2022, 2023; Sustainability Report 2023, 2024; Sustainability Report 2024, 2025)*.

Os dados inseridos no Quadro 1 possuem as seguintes particularidades:

i. Os valores das emissões *scope* 1, 2 e 3 referem-se a toneladas (de dióxido de carbono);
ii. Os valores referentes ao número de passageiros estão expressos em milhões (de passageiros);
iii. Os valores referentes à relação entre as emissões totais e o número de passageiros estão expressos em toneladas de dióxido de carbono por passageiro;
iv. Os dados das emissões, quando discriminadas consoante a metodologia utilizada para a sua obtenção, nos relatórios de sustentabilidade, são da metodologia "*Location based*".

Através da análise comparativa dos aeroportos, é possível notar que todos os aeroportos ainda possuem elevadas quantidades de emissões de carbono, através da relação entre o valor total de emissões e o número total de passageiros, num determinado ano. São notórios valores anormais, referentes aos anos de 2020 e de 2021, quando comparados aos outros anos, período no qual a indústria aeronáutica possuiu diversas limitações devido à pandemia global e pelas restrições nacionais impostas ao tráfego de pessoas. Apesar desta particularidade dos dados em 2020 e 2021, o número total de passageiros encontra-se em valores próximos, ou superiores, a 2019, possibilitando a análise direta dos valores nos anos mais recentes com 2019.

No caso de LHR, os valores das emissões de *scope* 1, 2 e 3 diminuíam no período analisado, enquanto o número de passageiros ultrapassou o valor de 2019. Esta variação, nomeadamente nas emissões de *scope* 1 e 2, pode dever-se às diversas estratégias implementadas, como a redução do uso de energia proveniente de fontes não sustentáveis, das estratégias de transição para a eletrificação dos GSE, tal como a adoção de GSE elétricos, e do uso de SAF.

Já em AMS, a análise dos relatórios deste aeroporto, apesar de ter sido realizada de forma idêntica os outros, possui diversas particularidades, sendo estas:

i. Os valores referentes às emissões de *scope* 3 de 2022 e às emissões e ao número de passageiros de 2023 e 2024, de AMS, não são discriminadas nos relatórios anuais da RSG, não sendo os seus dados inseridos na tabela na secção de AMS;
ii. Dado que o RSG optou por agrupar as emissões de diversos aeroportos do grupo, sendo utilizadas as emissões de *scope* 1 e 2 do AMS, do aeroporto de Roterdão – Haia e do aeroporto de *Lelystad*, também como dados referentes a investimentos noutros aeroportos para as emissões de *scope* 3, não existe discriminação dos dados referentes a AMS. Como tal, os dados são inseridos na tabela, apesar de não representarem unicamente AMS, representam a tendência das emissões do grupo onde este está inserido e, dado que este representa a maioria

destes valores, são extrapoladas conclusões a partir destes, de forma a permitir a continuidade da análise dos dados de 2019-2022 de AMS.

Apesar da leitura dos valores recolhidos através dos relatórios de sustentabilidade não ser tão direta como nos outros dois casos, é possível compreender, através da comparação com estes outros, que os valores totais das emissões, relacionado com o número total de passageiros, se encontra abaixo de LHR, provando que as estratégias implementadas por AMS possuem o efeito esperado, reduzindo as suas emissões totais, provando o seu sucesso, que é confirmado pelo nível 5 ACA que este aeroporto possui.

Por fim, o caso de LIS é onde a verificação da redução das emissões é a mais óbvia, através das reduções nas emissões de *scope* 1, 2 e 3, entre o período de 2019 a 2024, sendo tal evidenciado pela relação entre as emissões totais e o número total de passageiros, com valores inferiores a AMS, que se encontra num nível ACA superior a LIS. Tal realça a estratégia eficaz que LIS possui, tal como através do projeto eGOANA, cujos efeitos são visíveis devido aos recorrentes esforços realizados na implementação de diversas estratégias no âmbito da sustentabilidade.

5. Conclusão

Através do estudo realizado, é possível compreender que a pressão que os aeroportos sofrem, no âmbito da sustentabilidade, com metas e restrições, tem-se generalizado, estando atualmente estabelecidas metas específicas para cada aeroporto, para o ano de 2030 e metas gerais para 2050. Em simultâneo, dado que a indústria aeronáutica se encontra em constante evolução e adaptação aos desafios a ela impostos, esta não cede ao comodismo, sendo capaz de se adaptar, alterando as suas estratégias e, com tal, garantindo que se apresenta como uma referência para outras indústrias no nível de execução da implementação de estratégias sustentáveis.

Com base no caso de estudo múltiplo, realizado aos três aeroportos escolhidos, é possível compreender que todos possuem estratégias definidas para atingir as metas definidas para 2030 e, consequentemente, para atingir as de 2050, abrangendo todo o ecossistema aeroportuário. Estas são representadas pelo nível ACA que os aeroportos possuem, estando os aeroportos em análise numa fase avançada destes, onde o próximo objetivo é atingir a neutralidade carbónica, no caso do aeroporto de Heathrow e do AHD, e consequentemente obter o nível 5 ACA ou, no caso do aeroporto de Schiphol, manter os esforços feitos, melhorando a sua eficiência na gestão das emissões de carbono, nos três *scopes* de emissões, permitindo manter o nível 5 ACA.

De modo a atingirem as metas impostas para 2030, os aeroportos focam-se na adaptação da gestão aeroportuária e, consequentemente, das operações, de modo a possibilitarem a implementação do conjunto de estratégias que os permitirão atingir as metas de 2050, sem criar disrupções nas operações. Esta adaptação envolve a implementação de diversas estratégias que, embora sejam semelhantes entre os aeroportos em análise, variam no grau de intensidade da execução, procurando atingir metas diferentes nos mesmos âmbitos. Estas envolvem, no caso específico dos GSE, a redução, em %, das emissões de *scope* 1 e 2, comparada com um ano base definido, estando a ser implementadas estratégias de substituição dos combustíveis utilizados, tal como a utilização de HVO nos que possuem motores a combustão interna e a substituição, ou adição de GSE elétricos às frotas. No entanto, o estudo realizado também revelou que a implementação destas estratégias criou desafios à gestão dos aeroportos, nomeadamente na gestão da energia consumida em determinados momentos, dado que a oferta que os aeroportos possuem de postos de carregamento ainda não é suficiente.

Respondendo à 1ª questão de investigação, "Quais são as tendências regulatórias das entidades europeias relativamente à temática da sustentabilidade nos aeroportos,

nomeadamente nas operações de aeródromo, e quais as respostas dos aeroportos a estas?", as tendências regulatórias das entidades europeias que visam as operações de aeródromo separam-se em duas.

As que provém da UE, como a meta da neutralidade carbónica para 2050, no qual o uso dos níveis ACA permite a identificação do progresso realizado por um aeroporto ou as metas de uso de SAF nos aeroportos, através do plano "*Fit for 55*", com diversas metas até 2050, tal como a criação dos EU ETS.

As que provém dos próprios aeroportos e/ou das entidades gestoras destes, que são resposta às regulações da UE, variando consoante o aeroporto em análise, existindo planos com metas semelhantes, porém com diferenças claras entre eles. No caso dos aeroportos analisados, a grande diferença verificou-se entre os três aeroportos analisados, em que LHR, possuindo o nível 4+, possui o plano "*Heathrow 2.0*", com metas definidas para 2030, AMS que, possuindo o nível 5 ACA, procura eliminar por completo as emissões de *scope* 1 e 2 até 2030, através do plano "*Most Sustainable Airports*", e LIS que, possuindo o nível 4+, está inserido num grupo de aeroportos da VINCI *Airports*, seguindo as metas deste, tal como as estabelecidas no AIRPACT 2030, possuindo também um extenso e ambicioso projeto de resposta às regulações a ele impostas no âmbito das operações de aeródromo, através do projeto eGOANA.

Respondendo à 2ª questão de investigação, "Que desafios originam da implementação de estratégias adotadas, face às tendências regulatórias, nomeadamente na adoção de GSE elétricos, por parte de uma empresa que realiza operações de aeródromo?", através da implementação de estratégias, os aeroportos realçam desafios na sua capacidade em adotar uma quantidade mínima necessária de GSE elétricos. Excluindo os custos financeiros associados à compra de um equipamento, não explorados na presente investigação, a mera capacidade para os operar é tida em conta, sendo analisada através da capacidade de disponibilização de postos de carregamento, tal como da capacidade da rede elétrica do aeroporto para suportar o aumento de consumo, sendo este o principal desafio na adoção de GSE. Tal revela a necessidade de existir uma estratégia de consumo de eletricidade e da expansão da rede elétrica para uma rede ampla o suficiente, por parte do aeroporto, tal como da disponibilização de postos de carregamento suficientes, de modo a permitir a adoção necessária de GSE e que, consequentemente, permitam atingir as metas de sustentabilidade impostas. Esta estratégia passa também por explorar outras estratégias de gestão, como: a utilização de sistemas inteligentes de carregamento, de modo a não comprometer as operações a serem realizadas e a

criação de janelas de carregamento com durações adaptadas às necessidades, nomeadamente durante períodos de picos operacionais.

Respondendo à 3ª questão de investigação, "Como podem ser minimizados os desafios oriundos da implementação de estratégias adotadas, face às tendências regulatórias?", as respostas dos aeroportos face aos desafios oriundos da implementação de estratégias, no âmbito da sustentabilidade, englobam estratégias, para a mitigação destes mesmos desafios. Estes podem envolver todo o ecossistema aeroportuário, através da cooperação das entidades envolvidas na cadeia de valor, passando pela cooperação com entidades terceiras e através da criação de projetos e a implementação de tecnologias com foco na sustentabilidade, como a criação de medidas impostas nos níveis ACA que visam a redução das emissões de *scope* 3. No caso dos GSE e das emissões de *scope* 1 associadas ao uso destes, devido aos desafios relacionados com a rede elétrica, que seja pela insuficiente rede de postos de carregamento ou da capacidade da rede elétrica, a adoção, para GSE com motores a combustão onde seja possível o seu uso, de HVO, como estratégia de transição. Este apresenta-se, não como uma estratégia importante para GSE cujas versões elétricas não existem, ou quando o investimento financeiro não o permite.

Além destas respostas face aos desafios, existe também a oportunidade, por parte dos aeroportos, em potenciar a implementação de estratégias inovadoras que permitam criar tendências na área e que, num futuro, permitam a redução, com menor custo associado, das emissões dos aeroportos, possibilitando um alcance das metas impostas mais célere.

Em suma, a indústria aeronáutica, estando em constante evolução, está a atravessar uma fase em que o foco na sustentabilidade e a transparência de dados relacionados com o seu impacto ambiental se tornou no novo normal, criando uma pressão nestes para a procura pela redução das suas emissões. Como tal, as respostas da gestão aeroportuária têm revelado uma adaptação às novas tendências, implementando estratégias que estão a produzir efeitos positivos na redução das suas emissões, tal como influenciar entidades terceiras a seguir esta mesma direção, possibilitando a redução geral das emissões de *scope* 1, 2 e 3 face ao número de passageiros que por eles viajam. Como tal, a adoção de GSE elétricos é, portanto, o futuro das operações de aeródromo, porém, tal não é possível sem a cooperação entre todo o ecossistema aeroportuário.

5.1. Limitações

A presente dissertação foi elaborada com um propósito exploratório da temática escolhida, procurando adaptar-se às descobertas realizadas, de modo a direcionar o estudo realizado, associando conceitos e temas. Esta decisão adveio da particularidade da indústria aeronáutica que, possuindo diversas áreas dentro dela, com características únicas e que necessitam de ser relacionadas para formar uma conclusão robusta, que permitiu a orientação da investigação numa área mais pertinente do estudo. Com esta estratégia utilizada, apesar de esta ter demonstrado ser benéfica para o estudo realizado, evidenciou diversas limitações, nomeadamente: no subcapítulo 2.2, onde a necessidade de explorar literatura externa à da indústria aeronáutica foi necessária para contextualizar a importância da sustentabilidade na gestão com a gestão aeroportuária.

Já no caso de estudo múltiplo, a ideia original era realizar a análise de 20 aeroportos, possuindo uma quantidade de dados bastante robusta, porém, devido à limitação da dimensão da dissertação, tal não foi possível. Como tal, foi apenas realizada a análise a três casos, em cenários diferentes no contexto aeronáutico europeu, com relatórios extensos, apesar do aeroporto de Schiphol combinar os dados das emissões com outros aeroportos, tornando a sua extração impossível para este estudo. Apesar desta redução, a limitação da análise exclusiva de relatório de sustentabilidade revelou ser insuficiente.

5.2. Recomendações para futuras investigações

A indústria aeronáutica, estando em constante evolução, apresenta-se como uma área de investigação onde haverá frequentemente novas conclusões a realizar, através da análise das suas diferentes áreas, permitindo diversas investigações, não atingindo, facilmente, um limite de estudo. Dado que o estudo realizado incidiu sobre a temática da sustentabilidade nas operações de aeródromo, apesar de este não possuir uma incidência completa no universo de aeroportos com estratégias implementadas no âmbito da sustentabilidade, foi possível compreender a tendência destes.

No entanto, fica por realizar um estudo mais completo, que englobe um número elevado de aeroportos europeus, permitindo realmente compreender os benefícios da implementação de determinadas estratégias e realizar a comparação dos efeitos. Os estudos realizados, de modo a serem objetivos na sua análise, beneficiariam no foco de uma tipologia de operação realizada, procurando explorar os limites da redução das emissões, auxiliando a gestão aeroportuária a atingir as metas de sustentabilidade impostas com o menor uso de recursos e possivelmente

num menor período temporal. Também a realização destas investigações, em conjunto com empresas de *handling*, permitindo a utilização de dados atuais sobre os equipamentos em análise, tal como a realização de testes piloto, apresentar-se-ia como uma oportunidade de investigação. Estas investigações permitiriam, futuramente, a comparação de dados e a compilação de estratégias, criando uma base teórica de estratégias com provas de sucesso na gestão aeroportuária.

6. Referências bibliográficas

Abdullah, A. A., Al-Sultan, A. T., & Alsaber, A. (2024). Optimising the management of arriving baggage at a Kuwait Airways passenger terminal using mathematical programming and simulation. Badania Operacyjne i Decyzje/Operations Research and Decisions, 34(1). https://doi.org/10.37190/ord240101

Adler, M., Petrat, A., Jongeling, A., Kieffer, M., de Jong, G., Behrens & Beelining, C., & Lieshout, R. (2024). The Economic and Social Impact of European Airports and Air Connectivity. https://www.aci-europe.org/downloads/resources/SEO%20Amsterdam%20Economics%20Study%20-%20The%20Economic%20and%20social%20impact%20of%20European%20Airports%20and%20air%20connectivity.pdf

Alruwaili, M., & Cipcigan, L. (2022). Airport electrified ground support equipment for providing ancillary services to the grid. Electric Power Systems Research. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108242

ANA, Aeroportos de Portugal. (2023, July). https://www.ana.pt/sites/default/files/2023-07/Declara%C3%A7%C3%A3o%20Execu%C3%A7%C3%A3o%20AHD%20Sa%C3%ADdas%20Rapidas%20de%20Pista.pdf

ANAC. (2015). Glossário da aviação civil. https://www.anac.pt/SiteCollectionDocuments/Publicacoes/estudos/glossario_da_aviacao_civil.pdf

Annual Report 2019 - Royal Schiphol Group. (2020). https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/7bnJQiuvG3iIIKJaOhrLYI/e7808adef908ab4370f441de1809dda3/Annual_Report_2019_Royal_Schiphol_Group.pdf

Annual Report 2020 - Royal Schiphol Group. (2021). https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/1uOk0L1PDJNLhT70QAT6Z1/8fff8bc5495ae31d9a4e004777025ddb/Schiphol_Annual_Report_2020.pdf

Annual Report 2021 - Royal Schiphol Group. (2022). https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/2eFwazvcfkxTRY0wL2Kwxp/5cd9ea0281e2268b6971061ec2009337/Schiphol_Annual_Report_2021.pdf

Annual Report 2022 - Royal Schiphol Group. (2023). https://assets.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/6KuDXV8tLObOnmmEyuvtoB/a06ae96544a988a8b5a34f728dd147c2/Schiphol_Group_Annual_Report_2022.pdf

Annual Report 2023 - Royal Schiphol Group. (2024). https://downloads.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/04nkMtBLgCVlHTBwHpI49/d310d7413331199e3e30fa163a0724b6/2023_Annual_Report_Schiphol_Final_Version_16-02-2024.pdf

Annual Report 2024 - Royal Schiphol Group. (2025). https://downloads.ctfassets.net/biom0eqyyi6b/4dK3ANlskFq31RXtEu9oyP/17f72a9d7c72c2bb286560609176d025/Schiphol_Group_Annual_Report_2024.pdf

ATAG. (2024, December 5). Aviation: Benefits Beyond Borders 2024. https://aviationbenefits.org/media/e5ynn4x0/abbb2024_full_report.pdf

Au, A. K. M., Yang, Y.-F., Wang, H., Chen, R.-H., & Zheng, L. J. (2023). Mapping the Landscape of ESG Strategies: A Bibliometric Review and Recommendations for Future Research. Sustainability, 15(24). https://doi.org/10.3390/su152416592

Bansal, P., & Roth, K. (2000). Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness. Academy of Management Journal, 43(4). https://doi.org/10.5465/1556363

Baxter, G., Sabatini, R., & Wild, G. (2015). The Carbon Cost of Aircraft Ground Handling: Using Electric Tugs to Improve Environmental Sustainability of Ground Operations. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3260.4327

Brundtland, G. H. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf

Carroll, A. B. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. Business Horizons, 34(4). https://doi.org/10.1016/0007-6813(91)90005-G

Chen, S.-T., Ermiş, G., & Sharpanskykh, A. (2023). Multi-agent planning and coordination for automated aircraft ground handling. Robotics and Autonomous Systems. https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104480

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The Drivers of Greenwashing. California Management Review, 54(1). https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64

Diaz Gonçalves, T., & Saporiti Machado, J. (2023). Origins of the Sustainability Concept and Its Application to the Construction Sector in the EU. Sustainability, 15(18). https://doi.org/10.3390/su151813775

Dimitriadis, A., Natsios, I., Dimaratos, A., Katsaounis, D., Samaras, Z., Bezergianni, S., & Lehto, K. (2018). Evaluation of a hydrotreated vegetable oil (HVO) and effects on emissions of a passenger car diesel engine. Frontiers in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.3389/fmech.2018.00007

Edwards, B. (2005). The modern airport terminal: New approaches to airport architecture. Spon Press. https://repo.poltekbangsby.ac.id/id/eprint/589/1/The%20modern%20airport%20terminal%20new%20approaches%20to%20airport%20architecture%20(%20PDFDrive%20).pdf (Original work published 1997)

EASA. (2022). Annex IV Operational Requirements for ground handling services (Part GH.OPS). https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/annex_iv_gh.ops_operational_requirements_draft.docx_0.pdf

EASA. (2023). Executive Summary and Recommendations. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads//EnvironmentalReport_EASA_summary_12-online.pdf

EASA. (2025). Ground handling: the “forgotten” piece of the aviation safety puzzle. EASA. https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/ground-handling-forgotten-piece-aviation-safety-puzzle

Elkington, J. (1997). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. Capstone. https://www.academia.edu/42948589/Cannibals_with_Forks

Erbach, G., Jensen, L., Chahri, S., & Claros, E. (2022). Towards climate neutrality [Briefing]. European Parliamentary Research Service. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)733513_EN.pdf

Supporting European Aviation EUROCONTROL. (2024). https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-02/eurocontrol-seven-year-forecast-2024-2030-february-2024.pdf

European Commission. (2023). ReFuelEU Aviation. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en

Environmental Performance Report 2019. (2020). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/documents/rda2019_en_04.pdf

Environmental Performance Report 2020. (2021). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/documents/01_ana_rda2020_en.pdf

Environmental Performance Report 2021. (2022). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/documents/rda2021_en.pdf

Ferreira, D., Baltazar, M. E., & Santos, L. (2024). Developing a Comprehensive Framework for Assessing Airports' Environmental Sustainability. Sustainability, 16(15). https://doi.org/10.3390/su16156651

Finger, M., Montero, J., & Serafimova, T. (2021). Navigating towards the decarbonisation of European aviation. European University Institute. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4a6f3056-8898-11ec-8c40-01aa75ed71a1/language-en

World Resources Institute. (2004). *A Corporate Accounting and Reporting Standard the Greenhouse Gas Protocol*. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf

Hagspihl, T., Kolisch, R., Fontaine, P., & Schiffels, S. (2024). Apron layout planning: Optimal positioning of aircraft stands. Transportation Research Part B: Methodological, 179. https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.102854

Heathrow 2.0 2019 Sustainability Progress. (2020). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/futher-reading/Sustainability-Report-2019.pdf

Heathrow 2.0 2020 Sustainability Progress. (2021). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/futher-reading/Heathrow-Sustainability-Report-2020.pdf

Heathrow Sustainability Report 2021. (2022). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/futher-reading/2021_Sustainability_Report.pdf

Heathrow's Sustainability Report 2022. (2023, March). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/futher-reading/Heathrows_Sustainability_Report_2022.pdf

Heathrow's Sustainability Report 2023. (2024, February). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/reports/2023_Heathrow_Sustainability_Report.pdf

Heathrow's Sustainability Report 2024. (2025). https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/reports/sustainability-report-2024.pdf

Hudda, N., Gould, T., Hartin, K., Larson, T. V., & Fruin, S. A. (2014). Emissions from an international airport increase particle number concentrations 4-fold at 10 km downwind. Environmental Science & Technology, 48(12). https://doi.org/10.1021/es5001566

IATA. (2023). NETZERO 2050. https://www.iata.org/contentassets/b3783d24c5834634af59148c718472bb/net-zero-tracking-progress-methodology.pdf

ICAO. (2004). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. https://www2023.icao.int/APAC/Meetings/2015%20WAWG1/an14_1ed_1951.pdf

ICAO. (2022). CAEP Report that explores the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal for International Civil Aviation CO2 Emissions reductions (LTAG). https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art93.pdf

Kazda, A., & Caves, R. E. (2015). Airport Design and Operation (3rd ed.). Emerald Group Publishing Limited. https://doi.org/10.1108/9781784418694 (Original work published 2000)

Keuken, M. P., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, J. S., & Hoek, G. (2015). Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol Airport (the Netherlands). Atmospheric Environment. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.015

Khireldin, A., & Law, C. C. H. (2023). A discrete event simulation model for airport runway operations optimisation: A case study of Cairo International Airport. Journal of Airport Management, 18(1). https://doi.org/10.69554/xact3158

Kirca, M., McGordon, A., & Dinh, T. Q. (2020). Multi-Input Multi-Output Model of Airport Infrastructure for Reducing CO2 Emissions. 2021 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). https://doi.org/10.1109/vppc49601.2020.9330949

Klöwer, M., Allen, M. R., Lee, D. S., Proud, S. R., Gallagher, L., & Skowron, A. (2021). Quantifying aviation's contribution to global warming. Environmental Research Letters, 16(10). https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac286e

Kluza, K., Ziolo, M., & Spoz, A. (2021). Innovation and environmental, social, and governance factors influencing sustainable business models: Meta-analysis. Journal of Cleaner Production. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127015

Level 1 - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-1

Level 2 - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-2

Level 3 - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-3

Level 3+ - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-3-plus

Level 4 - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-4

Level 4+ - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-4-plus

Level 5 - Airport Carbon Accreditation. (2025). Airport Carbon Accreditation. https://www.airportcarbonaccreditation.org/about/7-levels-of-accreditation/level-5

Lusa. (2024, May 15). Sapo.pt. https://eco.sapo.pt/2024/05/15/declaracao-de-impacto-ambiental-do-aeroporto-de-lisboa-so-era-valida-ate-2015/

Majone, G. (1994). The rise of the regulatory state in Europe. West European Politics, 17(3). https://doi.org/10.1080/01402389408425031

Martin, A. (2016). FIXED ELECTRICAL GROUND POWER. In London Stansted Airport. https://assets.live.dxp.maginfrastructure.com/f/73114/x/d848d3ee6a/stn-nap-fixed-electrical-ground-power.pdf

Masiol, M., & Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. Atmospheric Environment, 95. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.070

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (2019). Global warming of 1.5°C. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf

McCaffery, C., Zhu, H., Sabbir Ahmed, C. M., Canchola, A., Chen, J. Y., Li, C., Johnson, K. C., Durbin, T. D., Lin, Y.-H., & Karavalakis, G. (2022). Effects of hydrogenated vegetable oil (HVO) and HVO/biodiesel blends on the physicochemical and toxicological properties of emissions from an off-road heavy-duty diesel engine. Fuel, 323. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124283

NAV Portugal. (2024, May 16). Aerodrome chart - ICAO. https://ais.nav.pt/wp-content/uploads/AIS_Files/eAIP_Current/eAIP_Online/eAIP/graphics/eAIP/LP_AD_2_LPPT_01-1_en.pdf

Peeters, P., Higham, J., Kutzner, D., Cohen, S., & Gössling, S. (2016). Are technology myths stalling aviation climate policy? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 44. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.004

Petrescu, R. V. V., Aversa, R., Akash, B., Bucinell, R., Corchado, J., Berto, F., Mirsayar, M., Apicella, A., & Petrescu, F. I. T. (2017). History of Aviation-A Short Review. Journal of Aircraft and Spacecraft Technology, 1(1). https://doi.org/10.3844/jastsp.2017.30.49

Planès, T., Delbecq, S., Pommier-Budinger, V., & Bénard, E. (2021). Simulation and evaluation of sustainable climate trajectories for aviation. Journal of Environmental Management, 295. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113079

Quilty, S. M., National Research Council (U.S.). Transportation Research Board, Airport Cooperative Research Program, & United States. Federal Aviation Administration. (2015). Overview of airport fueling system operations. Transportation Research Board. https://nap.nationalacademies.org/read/22141/chapter/1

Richter, M. (2025). *Airfield Vehicle Service Road Design and Operations*. https://nap.nationalacademies.org/read/28811/chapter/1

Rogers, A. (2011). Austin Airport Electrification: Landside and Airside Operations 1023202. https://www.taoyuanairport.com.tw/api/uploads/files/20221118/854b39bb-02c2-44a1-8fdd-77e5817df445.pdf

Roszkowska-Menkes, M. (2021). Greenwashing. Encyclopedia of Sustainable Management. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_390-1

Sari, M., Wan Mohamed, W. M., & Jalil, S. A. (2022). The optimization using electric ground support equipment in aviation industry. International Journal of Energy Economics and Policy, 12(1). https://doi.org/10.32479/ijeep.11711

Shi, L., Han, L., Yang, F., & Gao, L. (2019). The Evolution of Sustainable Development Theory: Types, Goals, and Research Prospects. Sustainability, 11(24). MDPI. https://doi.org/10.3390/su11247158

Sieb, P., Michelmann, J., Flöter, F., & Wicke, K. (2023). Identifying challenges in maintenance planning for on-demand UAM fleets using agent-based simulations. CEAS Aeronautical Journal, 14(3). https://doi.org/10.1007/s13272-023-00665-y

Sustainability Report 2022. (2023). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/2023-09/ANA_RS_ING03_25.09.2023.pdf

Sustainability Report 2023. (2024). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/2024-08/RS_2023_EN.pdf

Sustainability Report 2024. (2025). In ANA - Aeroportos de Portugal. https://www.ana.pt/sites/default/files/2025-09/ANA_Sustainability_Report_2024.pdf

Sznajderman, L., Coppa, M., Martiarena, J. F., & Olariaga, O. D. (2022). Quantification model of airport ground support equipment emissions. Aviation, 26(4). https://doi.org/10.3846/aviation.2022.17967

Timmermans, K. (2023, December). Electric Ground Support Equipment at Airports. Tudelft.nl. https://repository.tudelft.nl/record/uuid%3Aa5d0945b-92f9-40c9-a84f-6d4b2a162ea4

United Nations. (2015). Paris Agreement. United Nations. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Van Asch, T., Dewulf, W., Kupfer, F., Meersman, H., Onghena, E., & Van de Voorde, E. (2019). Air cargo and airport competitiveness. Journal of Air Transport Studies, 10(2). https://doi.org/10.38008/jats.v10i2.142

van Seters, D., Grebe, S., & Faber, J. (2024). Health Impacts of Aviation UFP Emissions in Europe. https://zero.ong/wp-content/uploads/2024/06/Estudo-Impacto-Particulas-Aviacao-na-Saude.pdf

Vogel, H.-A. (2019). The nature of airports. In Foundations of airport economics and finance. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810528-3.00001-9

Yeung, S., Yu, I., & Hui, K. (2005). World at work: Aircraft cabin cleaning. Occupational and Environmental Medicine, 62(1). https://doi.org/10.1136/oem.2004.015461

Yildiz, F., Dayi, F., Yucel, M., & Cilesiz, A. (2024). The impact of ESG criteria on firm value: A strategic analysis of the airline industry. Sustainability, 16(19). https://doi.org/10.3390/su16198300

Yin, R. (2018). Case Study Research and Applications (6th ed.). https://ebooks.umu.ac.ug/librarian/books-file/Case%20Study%20Research%20and%20Applications.pdf